

**FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO**

# **Solução Imersiva para Exploração de Ambientes Virtuais Urbanos**

**Filipe Alexandre Duarte Gomes Carneiro**



Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Orientador: António Fernando Vasconcelos Cunha Castro Coelho

22 de Fevereiro de 2013



# **Solução Imersiva para Exploração de Ambientes Virtuais Urbanos**

**Filipe Alexandre Duarte Gomes Carneiro**

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Aprovado em provas públicas pelo Júri:

Presidente: Doutor Luís Filipe Pinto de Almeida Teixeira, Professor Auxiliar Convidado, da FEUP

Arguente: Doutor Maximino Esteves Correia Bessa, Professor Auxiliar, da Universidade de Trás os Montes e Alto Douro

Vogal: Doutor António Fernando Vasconcelos Cunha Castro Coelho, Professor Auxiliar, da FEUP

---

22 de Fevereiro de 2013





# Resumo

Os Ambientes Virtuais têm tido uma evolução acentuada ao longo dos últimos anos, tendo a adopção deste tipo de sistemas também aumentado em domínios cada vez mais amplos. No entanto, existe uma grande procura por novas técnicas de interacção com este tipo de sistemas, dotadas de mais naturalidade, de forma a promover uma maior produtividade e eficácia destes sistemas.

Com a presente dissertação propõe-se uma solução genérica para a exploração de Ambientes Virtuais urbanos, com recurso a um conjunto de dispositivos específicos: um *Head-Mounted Display*, uma *Data Glove*, ambos com *Inertial Measurement Units* acopladas, e um rato 3D. Para o efeito, foi desenvolvida uma arquitectura para o sistema, que recorrendo às APIs disponibilizadas pelos dispositivos, implementa em três módulos, um para cada dispositivo, o conjunto das técnicas de interacção para as quais esse dispositivo é utilizado. Esse conjunto de técnicas surgiu da escolha efectuada ao longo deste processo, das opções sugeridas na literatura, tendo sido utilizada uma taxonomia para a sua caracterização. Sendo uma solução genérica, é possível adaptá-la a vários sistemas específicos através da utilização das directrizes definidas ao nível da arquitectura e das técnicas de interacção.

A validação da solução desenvolvida foi conseguida através da realização de um caso de estudo, no âmbito de um projecto a decorrer no Departamento de Engenharia Informática da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, o 3DWikiU. Através de uma análise profunda das funcionalidades deste sistema, foi possível efectuar a adaptação da solução criada, por forma a construir uma metáfora de interacção para o 3DWikiU. Esta metáfora foi depois testada com o intuito de medir a sua usabilidade e eficácia, tendo os resultados obtidos sido, no geral, satisfatórios.

Os resultados do caso de estudo demonstram a viabilidade da solução desenvolvida, para servir de ponto de partida para a criação de metáforas de interacção imersiva para uma gama variada de aplicações.



# Abstract

Over the last several years, Virtual Environments have been increasingly adopted in a wide range of domains. However, there is a great demand for innovative and more natural, interaction techniques with VEs, capable of increasing the productivity and effectiveness of these systems.

This dissertation proposes a generic solution for exploring urban Virtual Environments, using a set of specific devices: a Head-Mounted Display, a Data Glove, both with Inertial Measurement Units coupled, and a 3D mouse. For this purpose, an architecture was developed for the system, which using the APIs supplied by the devices, providing a set of interaction techniques for each device being used.

This set of techniques arose from the choice made from the options suggested in the literature and a taxonomy has been used for its characterization. Being a generic solution, it provides a wide range of applicability to distinct systems by using the guidelines for architecture and the interaction techniques developed.

The validation of the solution was achieved by conducting a case study in the scope of an undergoing project at the Computer Engineering Department of the Faculty of Engineering of the University of Porto, called 3DWikiU. Through a thorough analysis of the features of this system, it was possible to adapt the proposed solution in order to build an interaction metaphor for 3DWikiU system. This metaphor was then tested in order to measure its usability and efficiency, and the results were in general satisfactory.

The results of the case study demonstrate the feasibility of the solution developed to serve as a starting point for creating interaction metaphors for immersive concrete systems for a wide range of systems.



# Agradecimentos

Estas, provavelmente, deveriam ser as últimas palavras a escrever neste documento, no entanto, tal é a sua firmeza e determinação que o seu sentido se manterá inabalável, apesar do tempo que poderá decorrer até à sua publicação.

Em primeiro lugar, gostava de agradecer de forma muito especial às três pessoas com quem trabalhei mais de perto, durante a minha Dissertação: ao meu orientador Professor António Coelho, que demonstrou sempre uma compreensão e disponibilidade exemplares, durante este percurso nem sempre fácil; ao Hugo Machado, cujas conversas foram instrutivas e fulcrais, para compreender o processo de realização de uma Dissertação e moldar os meus objectivos e expectativas; por último, ao Ricardo Gonçalves, por toda a ajuda e apoio.

Agora, num tom mais pessoal, um obrigado imenso à minha mãe e namorada, por toda a paciência e apoio constantes, bem como, aos meus amigos. Obrigado!

Por fim, eu acredito que muitas vezes os artistas conseguem produzir arte tão descritiva de certas realidades de cada um, que nem nós próprios temos a capacidade para nos exprimir tão claramente sobre elas. Sendo assim, cito a personagem interpretada por Gary Oldman, Lt. James Gordon, no filme *The Dark Knight*, por Christopher Nolan: "Because he's the hero Gotham deserves, but not the one it needs right now. So we'll hunt him. Because he can take it. Because he's not our hero. He's a silent guardian, a watchful protector. A dark knight.". Obrigado Pai!

Filipe Alexandre Duarte Gomes Carneiro



# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Enquadramento e motivação . . . . .	1
1.2	Descrição do problema . . . . .	2
1.3	Objectivos . . . . .	3
1.4	Estrutura da dissertação . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b>	<b>5</b>
2.1	<i>Head-Mounted Displays</i> . . . . .	5
2.2	Luvras Instrumentadas . . . . .	6
2.3	Dispositivos com múltiplos graus de liberdade . . . . .	7
2.4	Técnicas de interacção . . . . .	9
2.4.1	Manipulação de ponto-de-vista . . . . .	10
2.4.2	Seleção e manipulação . . . . .	12
2.5	Sumário . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Metodologia</b>	<b>17</b>
3.1	Arquitectura . . . . .	17
3.2	Plataforma imersiva . . . . .	19
3.2.1	<i>Head-Mounted Display</i> . . . . .	19
3.2.2	<i>Data Glove</i> . . . . .	20
3.2.3	Rato 3D . . . . .	22
3.2.4	Integração dos dispositivos . . . . .	23
3.3	Técnicas de interacção . . . . .	24
3.3.1	Manipulação do ponto-de-vista . . . . .	24
3.3.2	Manipulação de objectos . . . . .	27
3.4	Sumário . . . . .	31
<b>4</b>	<b>Caso de estudo</b>	<b>33</b>
4.1	Sistema . . . . .	33
4.1.1	Modos de interacção . . . . .	34
4.1.2	Ferramentas . . . . .	34
4.1.3	Serviços . . . . .	36
4.2	Comandos . . . . .	37
4.2.1	<i>Head-Mounted Display</i> . . . . .	37
4.2.2	<i>Data Glove</i> . . . . .	37
4.2.3	Rato 3D . . . . .	38
4.3	Implementação . . . . .	41
4.4	Testes . . . . .	46

## CONTEÚDO

4.5	Resultados . . . . .	48
4.5.1	Reportar problema . . . . .	48
4.5.2	Editar textura . . . . .	51
4.5.3	Modificar a altura de um edifício com <i>handles</i> . . . . .	54
4.5.4	Questionário final . . . . .	56
4.6	Sumário . . . . .	58
<b>5</b>	<b>Conclusões e Trabalho Futuro</b>	<b>61</b>
5.1	Satisfação dos Objectivos . . . . .	62
5.2	Trabalho Futuro . . . . .	63
<b>A</b>	<b>Questionário inicial</b>	<b>65</b>
<b>B</b>	<b>Questionário final</b>	<b>67</b>
	<b>Referências</b>	<b>71</b>



# Lista de Figuras

2.1	Inclinação do <i>Rockin' Mouse</i> . . . . .	7
2.2	<i>GlobeFish</i> . . . . .	8
2.3	<i>GlobeMouse</i> . . . . .	8
2.4	Taxonomia para a selecção de direcção/destino . . . . .	10
2.5	Taxonomia para a selecção da velocidade/aceleração . . . . .	11
2.6	Taxonomia para as condições de entrada . . . . .	11
2.7	Taxonomia para a selecção de objectos . . . . .	12
2.8	Taxonomia para a manipulação de objectos . . . . .	13
2.9	Taxonomia para a libertação de objectos . . . . .	14
3.1	Arquitectura . . . . .	18
3.2	<i>Trivisio ARvision 3D</i> , com <i>Trivisio Colibri - Inertial Motion Tracker</i> acoplada . .	19
3.3	<i>5DT Data Glove 5 Ultra</i> , com <i>Trivisio Colibri - Inertial Motion Tracker</i> acoplada	20
3.4	Conjunto de gestos suportados pela luva . . . . .	21
3.5	<i>Space Mouse Pro</i> . . . . .	22
3.6	<i>Movimentos possíveis com o rato 3D</i> . . . . .	22
3.7	Plataforma imersiva . . . . .	23
3.8	Caracterização da solução para a selecção da direcção/destino . . . . .	25
3.9	Caracterização da solução para a selecção da velocidade/aceleração . . . . .	26
3.10	Caracterização da solução para as condições de entrada . . . . .	27
3.11	Caracterização da solução para a selecção de um objecto . . . . .	28
3.12	Caracterização da solução para a manipulação de um objecto . . . . .	29
3.13	Caracterização da solução para a libertação de um objecto . . . . .	30
4.1	Botão disponível, na utilização do rato 3D . . . . .	39
4.2	Teclado virtual . . . . .	40
4.3	Comandos disponíveis no controlo central do rato 3D . . . . .	41
4.4	Grupo 3DWikiU . . . . .	42
4.5	Grupo <i>Mouse 3D</i> . . . . .	43
4.6	Grupo <i>Glove</i> . . . . .	44
4.7	Grupo <i>Mouse 3D - structs and enumerations</i> . . . . .	45
4.8	Tempo de execução da navegação na tarefa Reportar problema . . . . .	49
4.9	Tempo de execução da alteração de serviço na tarefa Reportar problema . . . . .	49
4.10	Tempo de execução da selecção do objecto na tarefa Reportar problema . . . . .	50
4.11	Tempo de execução da escrita e gravação do problema na tarefa Reportar problema	51
4.12	Tempo de execução da navegação na tarefa Editar textura . . . . .	51
4.13	Tempo de execução da alteração de serviço na tarefa Editar textura . . . . .	52
4.14	Tempo de execução da selecção do objecto na tarefa Editar textura . . . . .	53

## LISTA DE FIGURAS

4.15	Tempo de execução da alteração de textura na tarefa Editar textura . . . . .	53
4.16	Tempo de execução da navegação na tarefa Modificar a altura de um edifício com <i>handles</i> . . . . .	54
4.17	Tempo de execução da alteração de serviço na tarefa Modificar a altura de um edifício com <i>handles</i> . . . . .	55
4.18	Tempo de execução da selecção do objecto na tarefa Modificar a altura de um edifício com <i>handles</i> . . . . .	55
4.19	Tempo de execução da modificação da altura na tarefa Modificar a altura de um edifício com <i>handles</i> . . . . .	56
4.20	Facilidade de utilização dos dois cenários . . . . .	56
4.21	Facilidade de aprendizagem dos dois cenários . . . . .	57
4.22	Qualidade da visualização do mundo virtual nos dois cenários . . . . .	57
A.1	. . . . .	65
B.1	. . . . .	67
B.2	. . . . .	68
B.3	. . . . .	69
B.4	. . . . .	70

# Lista de Tabelas

4.1	Modos de interacção . . . . .	34
4.2	Ferramentas . . . . .	35
4.3	Serviços disponíveis . . . . .	36
4.4	Funcionalidades associadas à <i>Data Glove</i> , no modo de interacção <i>Interface mode</i>	38
4.5	Funcionalidades associadas à <i>Data Glove</i> , no modo de interacção <i>Flying mode</i> .	39
4.6	Funcionalidades associadas à <i>Data Glove</i> , no modo de interacção <i>Walking mode</i> .	40

## LISTA DE TABELAS

# Abreviaturas e Símbolos

AV	Ambiente Virtual
AVC	Ambiente Virtual Colaborativo
DEI	Departamento de Engenharia Informática
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
HMD	<i>Head-Mounted Display</i>
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i>
AVI	Ambiente Virtual Imersivo
IPA	Interface de Programação de Aplicação
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>



# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Enquadramento e motivação

Ambientes Virtuais (AVs) são mundos electrónicos em três dimensões com os quais o utilizador pode interagir, através de actividades de navegação, visualização e modificação [Dod09]. Estas formas de interacção não passam de métodos, para aceder à informação contida nesses mesmos ambientes. Ambientes Virtuais Colaborativos (AVCs) são uma evolução dos Ambientes Virtuais, introduzindo a possibilidade de vários utilizadores estarem presentes num mesmo AV, usando para isso uma rede de computadores [BGRP01]. Permitindo a comunicação, movimentação e interacção entre utilizadores, torna-se possível o objectivo de estes colaborarem na realização de tarefas através de um AVC [CS98]. Os AVCs têm sido utilizados em diversas áreas em que a colaboração entre utilizadores através de um mundo virtual é essencial, ou tida como vantajosa [Dod09]. Este conceito assemelha-se ao já existente e bastante conhecido "Wiki", que permite a edição colectiva de documentos sem que haja a necessidade de revisão dos conteúdos antes da sua publicação. É assim possível desta forma a contribuição de comunidades de colaboradores sem uma estrutura de controlo e gestão muito bem estabelecida.

O 3DWikiU é um projecto, a decorrer no Departamento de Engenharia Informática (DEI), da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), que procura tirar partido dos dois conceitos descritos anteriormente para criar um Wiki 3D para ambientes urbanos capaz de proporcionar uma interacção mais natural e intuitiva, para disponibilizar os mais diversos serviços possíveis nesses ambientes. Os tipos de serviços variam desde actividades de cidadania e empresariais, à promoção do património cultural e natural, bem como a colaboração e a partilha de dados entre todos os cidadãos.

Esta dissertação surgiu no âmbito deste projecto e da necessidade de criar uma metáfora de interacção humano-computador, para este sistema, utilizando três dispositivos: um *Head-Mounted Display* (HMD), uma *Data Glove*, ambos com *Inertial Measurement Units* (IMUs) acopladas, e um rato 3D.

## 1.2 Descrição do problema

A interacção no âmbito de um AV pode tomar várias formas. No entanto, existem três modos que são comuns a quase todos os domínios: manipulação de objectos, manipulação de ponto-de-vista e controlo de sistema [Han97]. O primeiro modo, manipulação de objectos, diz respeito à manipulação directa de elementos gráficos do ambiente em causa, nomeadamente, através de tarefas menos complexas como: seleccionar, rodar, translacionar, criar, eliminar, entre outras [Shn91] [HHA85]. A manipulação de ponto-de-vista compreende as tarefas de movimentação e orientação do ponto-de-vista do utilizador no ambiente [BH99]. Por fim, o controlo de sistema diz respeito a tarefas de comunicação entre o utilizador e o sistema, fora do âmbito do AV [Han97]. Pela constância que apresentam em quase todos os domínios e abrangência de grande parte das tarefas de interacção possíveis, estes três modos formam uma boa base de estudo sobre as questões que se levantam quando é atacado este problema.

Para levar a cabo a interacção com um AV podem ser utilizadas várias técnicas que irão formar a interface humano-computador. A caracterização destas técnicas, segundo Mark Mine [Min95], pode ser feita em três grupos: interacção directa do utilizador, controlos físicos e controlos virtuais. O primeiro grupo inclui todas as técnicas que dependem do mapeamento entre as acções naturais do utilizador. Já o grupo de controlos físicos contém todas as técnicas que fazem uso de dispositivos físicos, tais como joystick, rato, teclado, entre outros. O último dos grupos de caracterização é o dos controlos virtuais que se resume a todo o tipo de objectos virtuais possíveis de ser implementados e associados a algum tipo de controlo.

Ambientes Virtuais Imersivos (AVIs) são uma evolução dos AVs que introduz um novo paradigma de interacção, no qual o utilizador não é um mero observador externo, mas um participante activo no mundo virtual [BH99], existindo um mapeamento directo entre as acções naturais do utilizador e as consequências que estas desencadeiam no ambiente. Este tipo de sistemas trazem como objectivo adicional tornar a interacção entre o utilizador e o sistema o mais natural possível [Han97], por forma a que a sua eficácia e produtividade seja aumentada. Apesar disso, é preciso ter atenção, como salientado por Bowman e Hodges [BH99], referindo Nielsen [Nie93], que por vezes a total naturalidade da interacção quase replicando a interacção do mundo real, limita drasticamente a produtividade do utilizador. Consequentemente, poderá ser do melhor interesse do sistema e do utilizador que exista uma relação equilibrada entre as interacções naturais e possíveis melhoramentos (físicos, cognitivos e perceptuais), apenas possíveis na realidade virtual.

Com esta dissertação pretende-se criar uma solução imersiva genérica, para Ambientes Virtuais urbanos, recorrendo a três dispositivos: um HMD, uma *Data Glove*, ambos com IMUs acopladas, e um rato 3D. Esta solução deverá representar um ponto de partida para soluções mais específicas a ser implementadas em sistemas concretos, que tirarão partido das suas directrizes para construir a sua metáfora de interacção. Mais à frente, neste documento, será apresentado um caso de estudo, recorrendo ao 3DWikiU.

Cada um dos dispositivos condiciona a metáfora de interacção a desenvolver, assim como a sua integração, levanta questões em relação à forma como poderão ser utilizados, conjuntamente, para



interagir com o tipo de sistema em causa, bem como as tarefas típicas a realizar no contexto de tais sistemas. Assim, tendo o conta que um bom projecto da interacção entre o utilizador e o sistema é essencial para o seu sucesso, tal como referido por Ellis [EII83] e Bowman e Hodges [BH99], é extremamente relevante um estudo detalhado sobre as tarefas a realizar e as técnicas de interacção a utilizar [JLMP93]. A introdução da imersividade levanta, adicionalmente, questões relativas à relação entre a desejada naturalidade de interacção e essencial eficácia e produtividade do sistema.

### 1.3 Objectivos

O objectivo principal desta dissertação é proporcionar uma solução imersiva para a interacção com o sistema 3DWikiU, recorrendo aos três dispositivos já mencionados. No entanto, o seu estudo pretende ser mais abrangente, procurando criar uma solução ampla e genérica, que possa constituir um ponto de partida e fornecer directrizes, para a construção de soluções para sistemas concretos. Para tal, será necessário cumprir os seguintes objectivos específicos:

- Investigar o estado da tecnologia dos dispositivos imersivos;
- Estudar o estado da arte ao nível das técnicas de interacção com Ambientes Virtuais;
- Projectar uma solução genérica de interacção imersiva para AVs;
- Construir, tendo como ponto de partida a solução genérica concebida, a metáfora de interacção para o 3DWikiU;
- Implementar essa metáfora de interacção no sistema;
- Testar a metáfora implementada;
- Avaliar os resultados obtidos.

### 1.4 Estrutura da dissertação

O presente documento encontra-se dividido em cinco capítulos: Introdução, Revisão Bibliográfica, Metodologia, Caso de Estudo e Conclusões e Trabalho Futuro. O capítulo introdutório descreve em linhas gerais o problema em causa, dá um enquadramento e motivação, para a realização desta dissertação e faz uma descrição dos objectivos. Na Revisão Bibliográfica é apresentado o estado da arte realizado, para as áreas relevantes, nomeadamente, para cada tipo de dispositivo, bem como para as técnicas de interacção com Ambientes Virtuais. O terceiro capítulo tem como objectivo apresentar a metodologia utilizada, para cumprir com os objectivos propostos, descrevendo, para tal, o processo de construção da solução para o problema. Segue-se o caso de estudo levado a cabo, para validação da metodologia, finalizando o documento com as conclusões e perspectivas de trabalho futuro.

## Introdução

## Capítulo 2

# Revisão Bibliográfica

Com esta dissertação pretende-se criar uma solução imersiva genérica, para Ambientes Virtuais urbanos, recorrendo a três dispositivos: um HMD, uma *Data Glove*, ambos com IMUs acopladas, e um rato 3D. Para tal, é necessário realizar um estudo das técnicas de interacção com AVs existentes, bem como dos tipos de dispositivos em causa. No entanto, dada a escolha dos equipamentos não estar em causa neste projecto, o estudo sobre os dispositivos foi mais superficial.

Neste capítulo são apresentados os resultados do estudo realizado, para cada um dos tópicos referidos anteriormente.

### 2.1 *Head-Mounted Displays*

Chung et al. afirmam que o uso de HMDs para explorar mundos virtuais é um passo em frente, para uma interface completamente natural, entre o homem e a máquina. A possibilidade que estes dispositivos trazem de desenvolver a interacção com Ambientes Virtuais através de movimentos naturais dos utilizadores, sem que para isso seja necessária a execução de um conjunto superfluo de tarefas, torna essa interacção preferível, em relação aos meios mais tradicionais [CHB<sup>+</sup>89]. Em seguida são apresentados alguns exemplos deste tipo de dispositivos.

O primeiro *Head-Mounted Display* foi desenvolvido por Sutherland e era constituído por dois monitores CRTs, que permitiam a visualização de imagens estereoscópicas, e um sensor de posição ultrasónico, ou uma ligação mecânica a um dispositivo colocado no tecto, para monitorização dos movimentos da cabeça do utilizador [Sut65]. Apesar da fraca qualidade dos Ambientes Virtuais disponíveis à época desse estudo, este primeiro passo demonstrou, através dos seus resultados, que este seria um caminho a explorar no que respeita à forma como o utilizador interage com estes mundos virtuais [CHB<sup>+</sup>89]. Este facto é comprovado pelo trabalho posterior, onde foi melhorada a interface humano-computador [Vic74] e utilizado o HMD, para o desenho de superfícies de forma livre [Cla76].

Na sequência deste estudo foram realizados outros, onde foram introduzidos componentes mais avançados e feitos ajustes à tecnologia. Por exemplo, Mark Callahan melhorou a qualidade dos monitores CRT, bem como os motores de computação gráfica utilizados, recorrendo ao sensor magnético *Polhemus Navigation Sciences*, para monitorizar os movimentos da cabeça do utilizador (pondo de parte a outra solução para o efeito, encontrada por Sutherland) [Cal83]. Também na NASA [FMHR86], *CAE Electronics Ltd.* [CE86] e *Armstrong Aerospace Medical Research Laboratory* [Gli86] foram realizados estudos de tecnologias que tinham como base o HMD de Sutherland.

Apesar de terem sido realizados há bastante tempo, estes estudos continuam a providenciar a base científica para os dispositivos actuais, visto as evoluções dos mesmos terem acontecido, essencialmente, ao nível dos componentes que os constituem, monitores, sensores de detecção de movimento, entre outros. Assim, o essencial do conceito criado por Sutherland continua a vigorar hoje em dia.

## 2.2 Luvas Instrumentadas

Um dos principais meios utilizados pelos humanos para a interacção com o ambiente em que se inserem são as mãos, sendo através delas que executamos grande parte das tarefas do nosso dia-a-dia. Ao interagir com computadores, tradicionalmente, somos forçados a utilizar intermediários (teclado, rato, etc.) na interacção e, por isso, dificilmente é possível estabelecer algum tipo de relação entre as duas formas de interacção [SZ94]. Na expectativa de colmatar esta falta de naturalidade na interacção com os computadores têm sido estudadas formas de estes terem a capacidade de monitorizar, directamente, os movimentos da mão dos utilizadores [SZ94]. As luvas instrumentadas, tais como a *Data Glove* disponível para esta dissertação, foram um passo importante nesse sentido.

No ano de 1983, Grimes [Gri83] criou uma luva, com múltiplos sensores de toque, torção e inércia, posicionados com a intenção de monitorizar o *Single Hand Manual Alphabet for the American Deaf*. Esta luva, detectava oitenta combinações únicas dos sensores, formando um conjunto de gestos de mesmo número, que eram traduzidos em caracteres ASCII.

Em 1987, Zimmerman [Zim87] desenvolveu a primeira *Data Glove*, que monitorizava dez articulações dos dedos e os seis graus de liberdade da posição e orientação da mão. Esta luva era feita de lycra e estava munida de segmentos de fibra óptica nas costas da mão, ao longo dos dedos, bem como um sensor magnético capaz de determinar a posição e orientação da mão. Dado o conforto e facilidade de utilização deste dispositivo, na altura representou um grande avanço em relação às tecnologias existentes [SZ94].

Por fim, o dispositivo desenvolvido por James Kramer, em 1989, que consistia numa luva equipada com vinte e dois extensómetros, que permitia monitorizar os movimentos dos dedos e do pulso [KL89]. Através da colocação de um sensor magnético nas costas da mão torna-se possível o controlo da posição da mão no espaço.

Para um estudo mais profundo destes e outros dispositivos, deve ser consultado o artigo [SZ94], que descreve em detalhe um conjunto vasto deste tipo de tecnologias.

## 2.3 Dispositivos com múltiplos graus de liberdade

Com a emergência dos AVs, o acesso a mundos virtuais a três dimensões tornou-se comum e cresceu a necessidade de encontrar dispositivos que permitissem o controlo em todas as dimensões disponibilizadas no ambiente. Assim, começou o estudo para encontrar soluções que disponibilizassem mais do que os tradicionais dois graus de liberdade fornecidos pelo rato. Tal como com o uso do HMD, ao utilizar este tipo de dispositivos pretende-se concretizar uma tarefa num mundo virtual a três dimensões, sem que para isso seja necessária a decomposição da mesma em sub-tarefas a duas dimensões.

Com o aparecimento dos primeiros sensores electromagnéticos com seis graus de liberdade, começaram a ser desenvolvidos projectos para estudar a aplicabilidade dos mesmos nos Ambientes Virtuais [Han97]. No MIT foram concretizados dois projectos de especial relevância para este estudo: *3-Draw* [SRS91] e *Sculpting* [GH91]. Ambos faziam uso do sensor electromagnético *Polhemus* e das suas capacidades para determinar a posição e orientação, para a manipulação de objectos virtuais.

Apesar dos novos dispositivos que foram surgindo, o rato continua a ser o dispositivo de entrada dominante em mundos virtuais a três dimensões e, por isso, surgiram soluções como o *Rockin' Mouse* [BBKF97]. Este dispositivo semelhante a um rato tradicional, dada a superfície inferior arredondada, permite mais dois graus de liberdade (quatro no total), através da inclinação do mesmo (figura 2.1). Os resultados obtidos com este dispositivo foram bastante positivos, quando em comparação com o rato tradicional.



Figura 2.1: Inclinação do *Rockin' Mouse*

Mais recentemente, surgiram dispositivos como o *GlobeFish* (figura 2.2), o *GlobeMouse* (figura 2.3) [FHSH06]. O primeiro dispositivo é constituído por uma *trackball* suspensa, capaz de tratar os movimentos rotacionais e translacionais, enquanto que o segundo apresenta essa mesma *trackball* acoplada a um *Space Mouse* [FHKH06]. Desta feita, a *trackball* é responsável apenas pelos movimentos rotacionais, sendo os movimentos translacionais detectados pelo *Space Mouse*.

Consultando o estudo [FHKH06] é possível compreender de forma mais pormenorizada estes dois dispositivos, bem como outros criados pelos mesmos autores.



Figura 2.2: *GlobeFish*



Figura 2.3: *GlobeMouse*

## 2.4 Técnicas de interacção

Os Ambientes Virtuais surgiram como um novo meio de comunicação entre o utilizador e o computador, trazendo consigo a demanda de atingir uma maior conveniência e eficácia, relativamente aos meios mais tradicionais [Eli83]. No entanto, as formas de interacção adoptadas para os AVs têm demonstrado ser o maior obstáculo para o seu sucesso [BH99]. Assim, o estudo das técnicas de interacção a adoptar, bem como a sua adaptação às tarefas a concretizar no AV em causa, devem ser alvo de uma investigação profunda, por forma a desenvolver sistemas realmente capazes de cumprir com os seus objectivos [BH99] [Han97].

Ao longo dos anos tem sido realizados estudos, por forma a caracterizar as técnicas de interacção com Ambientes Virtuais, tendo por base as implementações realizadas ao longo dos anos. À frente são abordados três desses estudos.

No estudo realizado em 1995, Mark Mine [Min95], destacou cinco formas essenciais de interacção: movimento, selecção, manipulação, escalamento e menus virtuais/*widgets*. Relativamente às técnicas utilizadas, Mine, agrupou-as em três grupos:

- Interacção directa do utilizador, ou seja, técnicas que fazem o mapeamento directo entre as acções naturais do utilizador e a acção resultante no mundo virtual;
- Controlos físicos (botões, *joysticks*, rato, teclado, etc.);
- Controlos virtuais.

Ao relacionar cada um destes grupos de técnicas com as cinco formas essenciais de interacção, Mine conseguiu apresentar um conjunto amplo de soluções que devem ser tidas em conta na construção de uma metáfora de interacção para um AV. Por exemplo, relativamente à direcção do movimento, são apresentadas soluções como: direccionado pela mão, ou pelo olhar. Já relativamente à selecção apresenta soluções que vão desde os comandos por voz, selecção através de listas, ou através do olhar. Para maior pormenor deve ser consultado o seu artigo [Min95], onde são apresentadas todas as hipóteses e apresentadas as suas vantagens e desvantagens, dependendo dos cenários em que se inserem.

Chris Hand [Han97], em 1997, apresentou a revisão que efectuou às técnicas de interacção utilizadas até então, classificando-as segundo três tarefas comuns a todos os domínios que fizeram parte do seu estudo: manipulação de objectos, manipulação de ponto-de-vista e controlo de aplicação. O primeiro modo diz respeito à manipulação directa de elementos gráficos do ambiente em causa. A manipulação de ponto-de-vista compreende as tarefas de movimentação e orientação do ponto-de-vista do utilizador no ambiente. Já o controlo de sistema é respeitante a tarefas de comunicação entre o utilizador e o sistema, fora do âmbito do AV.

Por fim, temos o estudo realizado por Bowman e Hodges [BH99], em 1999, onde os autores desenvolveram uma metodologia para o desenho, avaliação e aplicação de técnicas de interacção em Ambientes Virtuais, com base na análise formal das tarefas e categorização das técnicas, recorrendo a diversas medidas de performance. Neste caso, tal como os autores dos dois estudos

anteriores, também estes tiveram necessidade de limitar os tipos de tarefas possíveis, no âmbito de um AV, para tornar o estudo exequível. Assim, foram analisadas nesse estudo duas categorias: manipulação de ponto-de-vista e selecção e manipulação. Como resultado deste estudo surgiu a taxonomia apresentada a seguir.

### 2.4.1 Manipulação de ponto-de-vista

Esta caracterização tem em conta o facto de o movimento ao longo do AV não ser uma tarefa isolada e fazer parte de um processo mais complexo, onde se inclui o processo de decisão inerente à escolha da direcção, ou do destino. Assim, surgem as três tarefas: "selecção de direcção/destino", "selecção de velocidade/aceleração" e "condições de entrada" [BH99]. A primeira tarefa diz respeito aos métodos segundo os quais o utilizador indica a direcção, ou ponto de destino do movimento. A seguinte refere-se à forma como o utilizador indica a velocidade, ou aceleração do movimento. Por fim, temos as condições de entrada, que dizem respeito aos métodos segundo os quais o utilizador inicia, continua e termina o movimento.



Figura 2.4: Taxonomia para a selecção de direcção/destino

Através do primeiro diagrama ( 2.4), referente à componente selecção de direcção/destino, podemos constatar que neste caso existem quatro possíveis técnicas de interacção: "direcção definida pelo olhar", "direcção definida apontando/gesto", "selecção discreta" e "apontando no espaço 2D".

Na figura 2.5 é possível visualizar o diagrama da componente "selecção de velocidade/aceleração", para a qual existem cinco tipos de técnicas de interacção: "velocidade/aceleração constante", "baseada em gestos", "selecção explícita", "escalamento do utilizador/ambiente" e "automática/adaptativa".



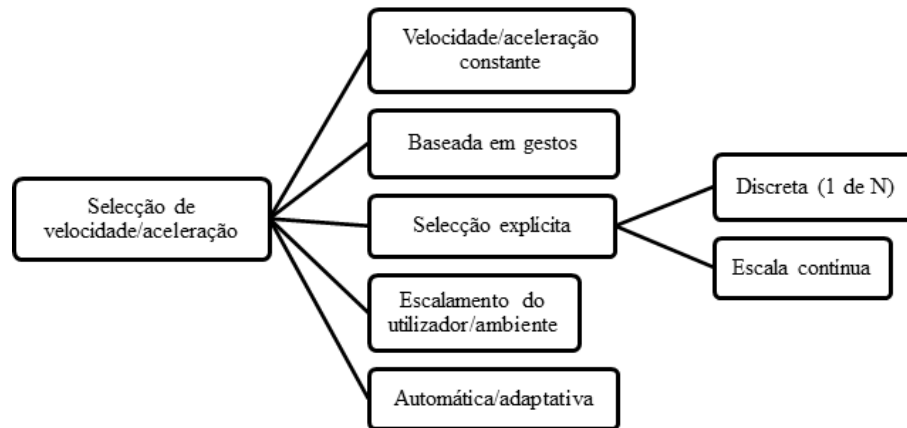


Figura 2.5: Taxonomia para a selecção da velocidade/aceleração

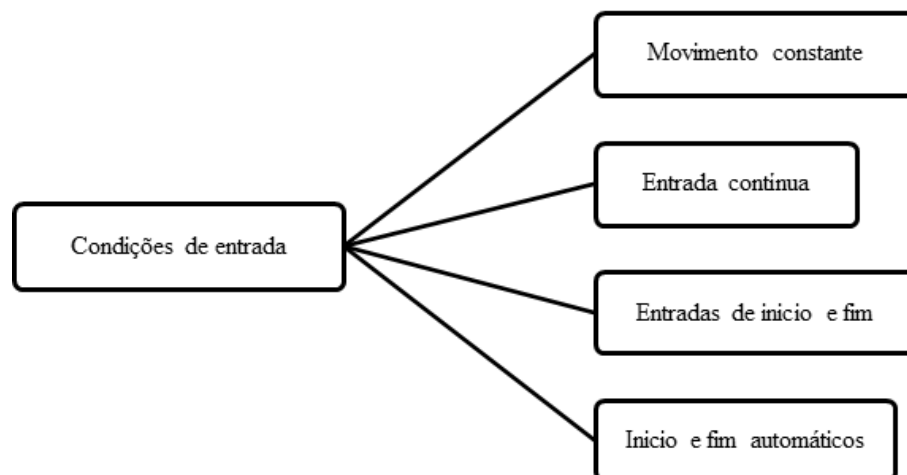


Figura 2.6: Taxonomia para as condições de entrada

Por fim, relativamente à componente "condições de entrada", representada na figura 2.6, são apresentadas quatro técnicas de interacção: "movimento constante", "entrada contínua", "entradas de início e de fim" e "início e fim automáticos".

## 2.4.2 Selecção e manipulação

A caracterização efectuada para a selecção e manipulação tem em conta que existem três sub-tarefas indispensáveis à sua concretização: "selecção", "manipulação" e "libertação" [BH99]. A primeira diz respeito ao acto de indicar qual o objecto a manipular, a segunda refere-se à manipulação propriamente dita, enquanto a terceira e última se refere à libertação do objecto manipulado. Cada uma das figuras que se seguem ( 2.7, 2.8 e 2.9) apresenta, respectivamente, a taxonomia para estas três sub-tarefas.

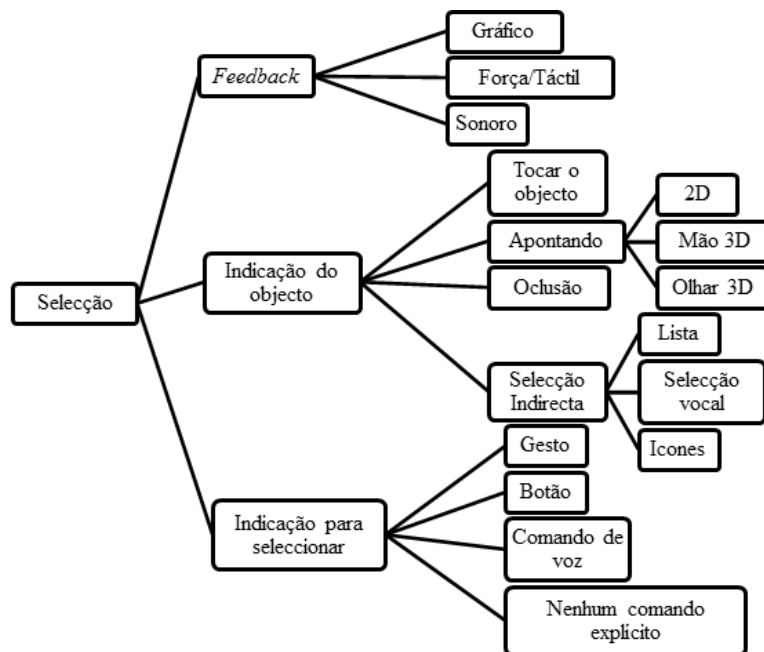


Figura 2.7: Taxonomia para a selecção de objectos

A sub-tarefa de selecção tem de ser caracterizada segundo três aspectos: "*feedback*", "indicação do objecto" e "indicação para seleccionar". Para o primeiro são propostas técnicas "gráficas", de "força/táctil" e "sonoras". Já para o segundo são quatro as técnicas de interacção: "tocar o objecto", "apontando", "oclusão" e "selecção directa". Para terminar, relativamente ao aspecto indicação para seleccionar, as propostas são: "gesto", "botão", "comando de voz" e "nenhum comando explícito".

Por sua vez, a sub-tarefa de "manipulação" possui quatro aspectos segundo os quais deve ser caracterizada: "ligação ao objecto", "posição do objecto", "orientação do objecto" e "*feedback*".

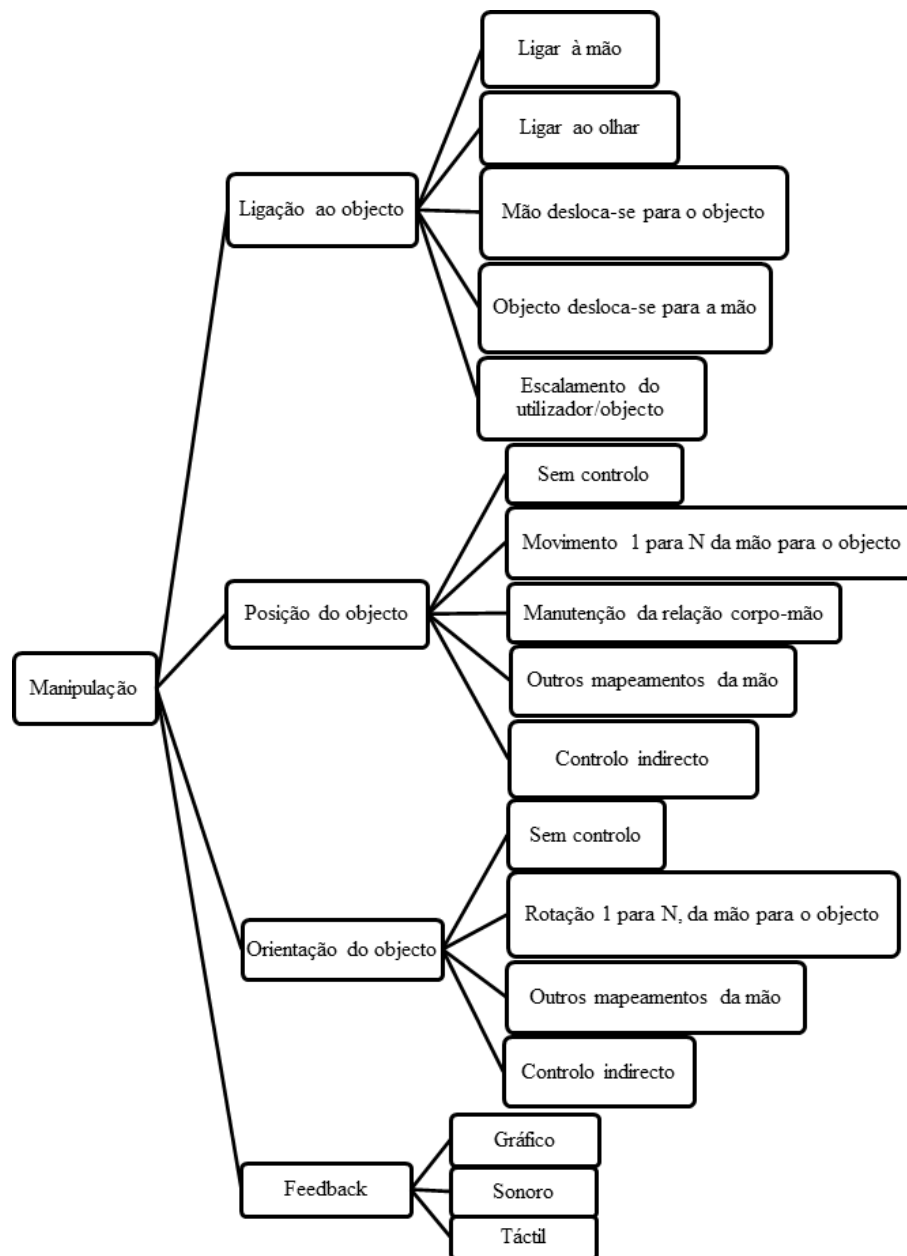


Figura 2.8: Taxonomia para a manipulação de objectos

Para o primeiro são sugeridas as seguintes técnicas: "ligar à mão", "ligar ao olhar", "mão deslocar-se para o objecto", "objecto desloca-se para a mão" e "escalamento do utilizador/objecto". O segundo apresenta sugestões como: "sem controlo", "movimento 1 para N da mão para o objecto", "manutenção da relação corpo-mão", "outros mapeamentos da mão" e "controlo indirecto". Para o aspecto "orientação de objecto" são sugeridas quatro técnicas de interacção: "sem controlo", "rotação 1 para N da mão para objecto", "outros mapeamentos da mão" e "controlo indirecto". No último aspecto, o "feedback" existem apenas três técnicas: "gráficas", "sonoras" e "tácteis".

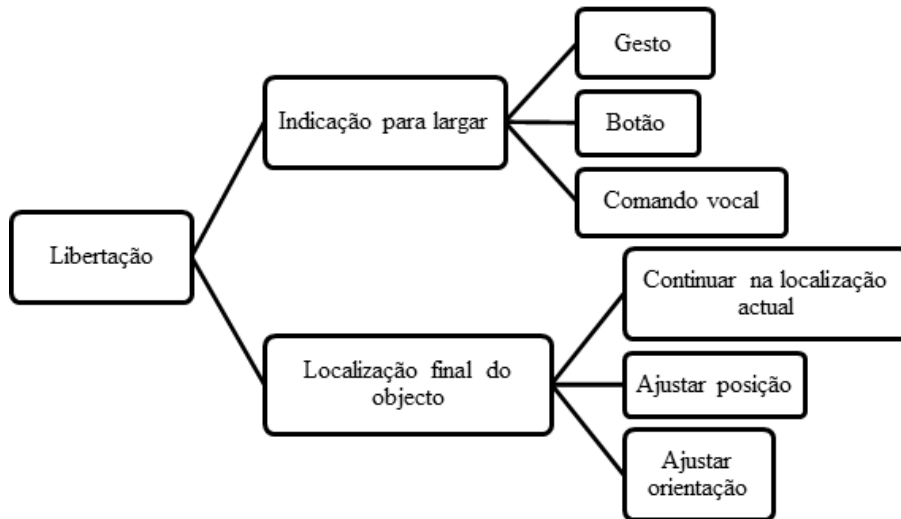


Figura 2.9: Taxonomia para a libertação de objectos

Para terminar, relativamente à sub-tarefa "libertação", são apenas dois aspectos a tratar, "indicação para largar" e "localização final do objecto". O primeiro compreende as seguintes técnicas de interacção: "gesto", "botão" e "comando vocal". Já o segundo apresenta "continuar na localização actual", "ajustar posição" e "ajustar orientação", como técnicas.

## 2.5 Sumário

A revisão bibliográfica efectuada aborda quatro aspectos: *Head-Mounted Displays*, luvas instrumentadas, dispositivos com múltiplos graus de liberdade e técnicas de interacção em Ambientes Virtuais.

No que toca aos três primeiros tópicos foram apresentados, para cada caso, um conjunto de tecnologias existentes e estudos efectuados. Para o HMDs são realçados os estudos levados a cabo por Mark Callahan [Cal83], pela NASA [FMHR86], CAE Electronics Ltd [CE86] e Armstrong Aerospace Medical Research Laboratory [Gli86], bem como o primeiro dos HMDs, desenvolvido por Sutherland [Sut65]. Já em relação às luvas instrumentadas são apresentados os estudos de Grimes [Gri83] e Zimmerman [Zim87], merecendo também destaque o artigo por Sturman e Zeltzer [SZ94], por apresentar um conjunto destes dispositivos bastante relevante. Para terminar a

## Revisão Bibliográfica

revisão bibliográfica referente aos dispositivos que constituem a plataforma imersiva foram apresentados os estudos consultados para os dispositivos com múltiplos graus de liberdade, sendo de destacar o *Rockin' Mouse* [BBKF97], o *GlobeFish* e o *GlobeMouse* [FHS06].

Relativamente às técnicas de interacção enumeraram-se três estudos. O primeiro apresenta um conjunto de soluções possíveis [Min95], para a interacção com AVs, o segundo descreve as técnicas utilizadas, até à data da sua realização em diversos estudos [Han97], já o terceiro apresenta uma metodologia para o desenho, avaliação e aplicação de técnicas de interacção em Ambientes Virtuais [BH99].

## Revisão Bibliográfica

## Capítulo 3

# Metodologia

O capítulo que se segue tem como objectivo apresentar a solução desenvolvida, para cumprir com os objectivos propostos.

Numa fase inicial, é apresentada e analisada a arquitectura do sistema e plataforma imersiva disponível, nomeadamente, cada equipamento que a constitui, as suas potencialidades na utilização neste tipo de solução e as questões inerentes à sua utilização síncrona. Em seguida são analisadas as opções, em termos de técnicas de interacção, e apresentadas e justificadas as escolhas efectuadas.

Detalhes sobre a adaptação desta solução genérica e sua implementação no âmbito do 3DWikiU serão fornecidos no capítulo seguinte.

### 3.1 Arquitectura

A arquitectura do sistema (figura 3.1) integra três dispositivos ligados a um computador: o HMD, a *Data Glove* e o rato 3D. Na imagem é possível constatar que a criação da solução imersiva recorre a uma API, para cada dispositivo, no entanto é necessário ressaltar os seguintes aspectos: o HMD funciona como um dispositivo de visualização normal, sendo a API utilizada referente à IMU acoplada; o rato 3D utiliza bibliotecas nativas do *Windows*, para *Raw Input Devices* como API; a *Data Glove* possui uma API própria, assim com a IMU acoplada (igual à do HMD). Esta solução imersiva define os parâmetros segundo os quais o utilizador interage com o Ambiente Virtual urbano, que se encontra alojado e em execução, no computador.

Apesar de integrados, cada dispositivo desencadeia um conjunto de acções independentes que alteram certas componentes do AV, podendo por isso ser implementados de forma autónoma. Assim, para cada dispositivo existirá um módulo que implementará as funcionalidades responsáveis por utilizar a API correspondente, para monitorar as acções executadas com o dispositivo e desencadear no sistema as alterações pretendidas.

## Metodologia

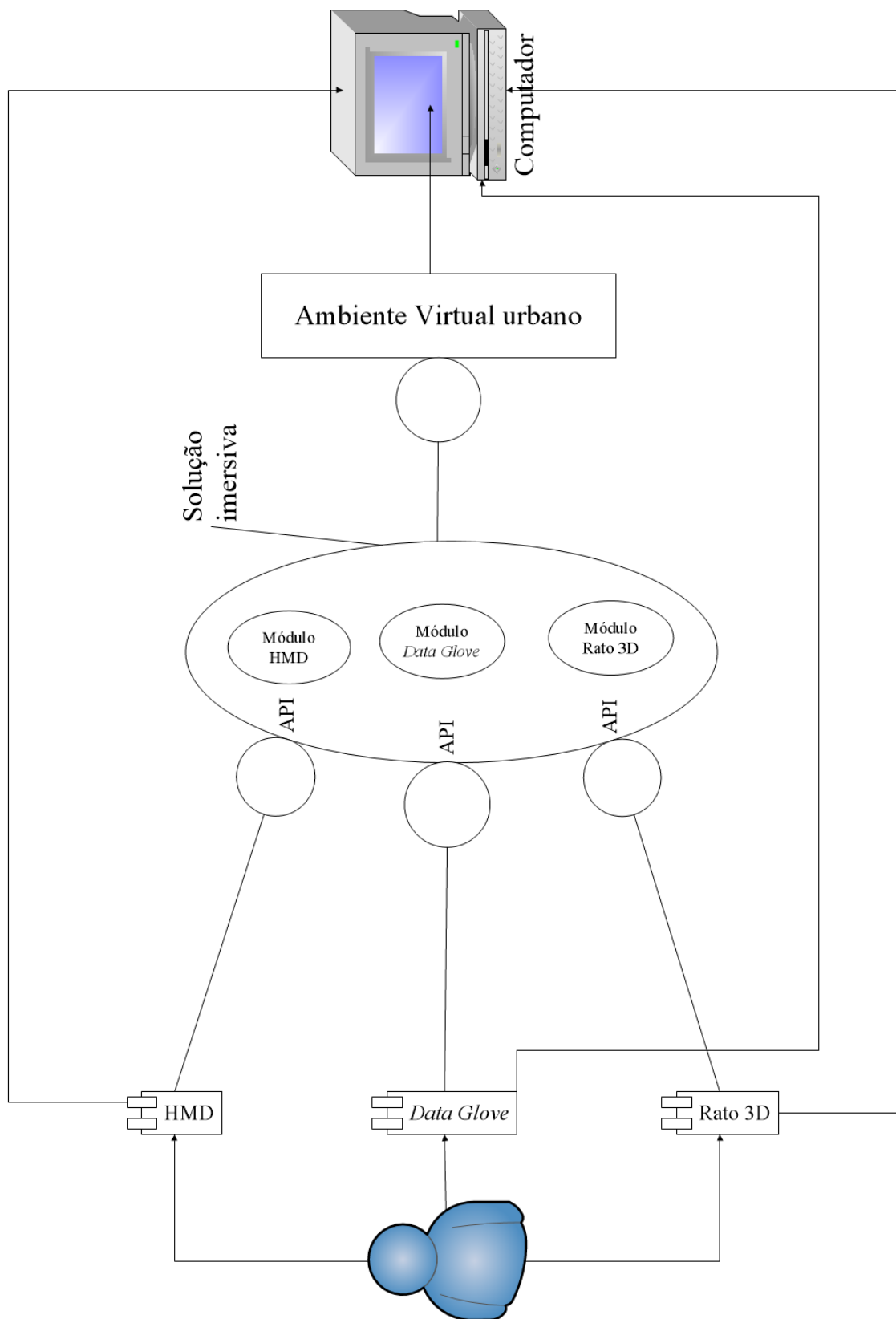


Figura 3.1: Arquitectura



## 3.2 Plataforma imersiva

A plataforma imersiva a utilizar, para a interacção com Ambientes Virtuais urbanos, é constituída por cinco dispositivos, de quatro tipos diferentes: um *Head-Mounted Display*, uma *Data Glove*, um rato 3D e duas *Inertial Measurement Units*, integrados em três módulos, visto uma IMU estar acoplado no HMD e a outra na *Data Glove*.

### 3.2.1 *Head-Mounted Display*

O HMD em causa é um *Trivisio ARvision 3D*, com a adição de uma IMU, *Trivisio Colibri - Inertial Motion Tracker*, acoplada na parte frontal, junto à testa do utilizador. A figura 3.2 ilustra este dispositivo <sup>1</sup>.



Figura 3.2: *Trivisio ARvision 3D*, com *Trivisio Colibri - Inertial Motion Tracker* acoplada

Este dispositivo potencia o efeito de alienação do ambiente real, provocado pela falta de contacto visual com o mesmo, a possibilidade de visualização do Ambiente Virtual em 3D estereoscópico [Dee92] e a capacidade de monitorar os movimentos naturais da cabeça. Estes aspectos são bastante vantajosos para a interacção. Outra potencialidade evidente é o facto de através do uso de um HMD, preferencialmente com um sistema de monitorização dos movimentos da cabeça (como é o caso) as duas mãos fiquem libertas para exercer outras interacções (facto reconhecido como vantajoso [BM86]), para a exploração visual do ambiente [Han97].

<sup>1</sup>Especificações técnicas do HMD e IMU em [www.trivisio.com](http://www.trivisio.com).

A sensação de presença num Ambiente Virtual é a sensação psicológica de "estar lá", no ambiente, sendo condição necessária a imersão do utilizador [SU94]. Outro ponto importante para a naturalidade e eficácia da interacção é o *feedback* que o sistema fornece [Eng95], como consequência das acções levadas a cabo pelo utilizador. A cada acção no mundo virtual está associada uma acção no mundo real e, quando estamos a falar de formas de interacção naturais, em que uma acção/gesto do utilizador despoleta uma acção no AV, o *feedback*, denominado nesta instância cinestésico, deve ser o mais coerente possível com os movimentos naturais do utilizador [War90] [RPJ99].

O efeito de alienação é de extrema importância para o aumento da sensação de presença no mundo virtual, pois aumenta a imersão do utilizador no ambiente, deixando-o completamente focado neste. Já as outras duas características descritas são fulcrais para o aumento da naturalidade do *feedback*, visto a primeira permitir a visualização do ambiente de forma semelhante à visão real humana e a segunda tornar possível a utilização de técnicas de interacção que aumentam o *feedback* cinestésico.

As limitações claras do dispositivo prendem-se com a fraca resolução dos ecrãs utilizados, comparando com os habituais monitores de secretária (produzem imagens de maior qualidade), e a falta de conforto na sua utilização, principalmente devido ao seu peso.

### 3.2.2 Data Glove

A *Data Glove* é uma *5DT Data Glove 5 Ultra*, também ela com adição de uma IMU, desta feita localizada nas costas da mão do utilizador. Na figura 3.3 ilustra-se este dispositivo <sup>2</sup>.



Figura 3.3: *5DT Data Glove 5 Ultra*, com *Trivision Colibri - Inertial Motion Tracker* acoplada

Este dispositivo permite a detecção de gestos realizados com a mão, dada a presença de cinco sensores (um para cada dedo). Este facto representa uma limitação da luva, pois existem luvas com

<sup>2</sup>Especificações técnicas da *Data Glove* em [www.5dt.com](http://www.5dt.com).

maior número de sensores, que permitem uma detecção mais refinada de movimentos. No entanto, dado as principais articulações utilizadas para gesticular (nós dos dedos) serem as monitorizadas pelos sensores, grande parte dos gestos mais naturais acabam por fazer parte do leque detectado pela luva (figura 3.4). Outro aspecto limitativo é o facto de ser necessário "vestir" o dispositivo, o que poderá causar algum desconforto na utilização e, por ventura, alguma limitação na utilização da mão para outras tarefas.



Figura 3.4: Conjunto de gestos suportados pela luva

Através da *Inertial Measurement Unit* acoplada à luva, também ela uma *Trivisio Colibri - Inertial Motion Tracker*, uma nova variável entra em equação na detecção de gestos: a orientação da mão. Desta forma, para cada gesto suportado pela luva existem tantas possibilidades, quanto os graus de rotação detectados pela IMU, segundo cada eixo. Certamente, alguma discretização dos ângulos de rotação terá de ser implementada, aquando da escolha dos gestos para a interacção, bem como a própria articulação do pulso não permite rotações de amplitude semelhante às que a IMU consegue detectar. No entanto, a utilização destes dois dispositivos como um aumenta, consideravelmente, as potencialidades da *Data Glove*.

Tal como referido por Mine [Min95], este dispositivo cai dentro da categoria da interacção directa do utilizador, onde existe um mapeamento natural entre as acções reais do utilizador e os resultados no mundo virtual. Assim, tal como no caso do HMD, este dispositivo é capaz de aumentar a naturalidade da interacção, dado o *feedback* cinestésico que produz. Outro aspecto é a semelhança deste tipo de interacção com a que usamos no mundo real: a familiaridade da interacção, neste caso significa naturalidade.

### 3.2.3 Rato 3D

O rato 3D é do modelo *Space Mouse Pro*, da *3D Connexion*, cuja ilustração se apresenta na figura 3.5<sup>3</sup>.



Figura 3.5: *Space Mouse Pro*

O dispositivo em causa é o mais tradicional dos três que constituem a plataforma imersiva, tendo duas grandes características diferenciadoras: maior número de graus de liberdade de movimento (seis) e maior número de botões, isto quando comparando com um rato tradicional. Sem dúvida que a primeira potencialidade é a que apresenta maior relevância, pois introduz algo de realmente novo. A figura 3.6 demonstra os movimentos que o rato 3D permite, de forma muito precisa e refinada, usando o controlo central.



Figura 3.6: *Movimentos possíveis com o rato 3D*

<sup>3</sup>Especificações técnicas do rato 3D em [www.3dconnexion.com](http://www.3dconnexion.com).

Se realizarmos o paralelo entre este rato 3D e um rato comum, ao interagir com um simples jogo na primeira pessoa, podemos facilmente perceber as potencialidades desta solução. Enquanto, com um rato comum, apenas estão permitidas rotações do ponto-de-vista para a esquerda, direita, cima e baixo, através do rato 3D é possível realizar as translações, tradicionalmente efectuadas com recurso ao teclado.

Seguindo a caracterização de Mark Mine este dispositivo faz parte do grupo de controlos físicos, especialmente indicados para tarefas de interacção que requerem elevada precisão, sendo capaz de aumentar a sensação de presença e o *feedback*, duas características responsáveis pelo aumento da naturalidade da interacção. No entanto, Mine também afirma que este tipo de dispositivos peca pela falta de flexibilidade, pois, normalmente, são estacionários (esta situação pode levantar problemas, quando um HMD é utilizado, por exemplo).

### 3.2.4 Integração dos dispositivos

A utilização síncrona dos três dispositivos, descritos anteriormente, constitui uma plataforma imersiva, onde o HMD é usado na cabeça, a *DataGlove* na mão direita e o rato 3D na mão esquerda (figura 3.7). Esta poderá substituir os meios de interface humano-computador mais tradicionais (monitor, rato e teclado), pretendendo-se que introduza imersividade à interacção, dadas as características dos dispositivos e as suas potencialidades. No entanto, a utilização síncrona dos dispositivos levanta algumas questões quanto à sua compatibilidade, que precisam de ser abordadas.

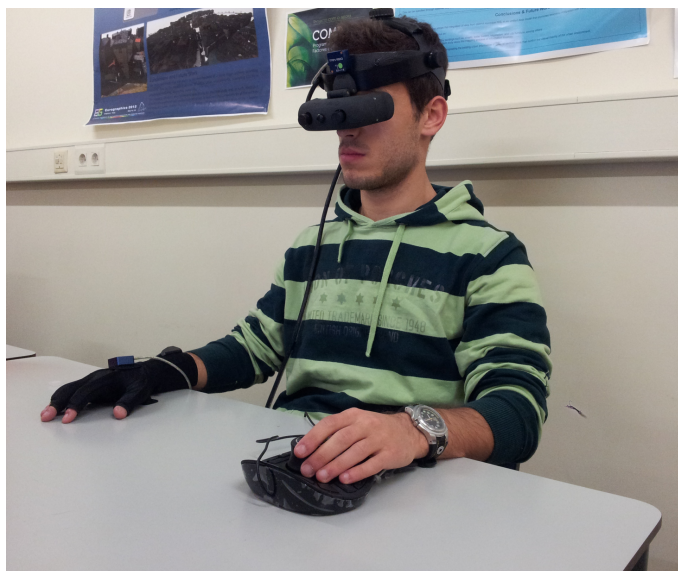


Figura 3.7: Plataforma imersiva

A compatibilidade entre a *Data Glove* e o rato 3D é total, desde que este último seja utilizado com a mão esquerda, dado a luva ser, exclusivamente, para uso na mão direita. Também o HMD não possui qualquer limitação na utilização síncrona com a luva, pois a interacção com a luva

é independente da necessidade de visualização da mão. A luva detecta gestos reais da mão e os seres humanos, através da noção natural que têm da presença, orientação e posição do seu corpo, dispensam a visualização da mão, para saber as suas características espaciais e físicas, nomeadamente, a posição de cada dedo [SU94].

Os únicos dispositivos que apresentam alguma incompatibilidade são o *Head-Mounted Display* e o rato 3D, por motivos mencionados na apresentação das limitações do rato 3D. Esta falta de compatibilidade limita, a movimentação espacial com o HMD, sob pena de perder o contacto com o rato 3D. No entanto, através de uma boa escolha de técnicas de interacção a utilização destes dois dispositivos de forma síncrona e, conseqüentemente dos três, pode ser conseguida.

### 3.3 Técnicas de interacção

A solução imersiva desenvolvida segundo a formulação do problema, no primeiro capítulo, depende do estudo da relação entre os dispositivos disponíveis para a interacção, as técnicas a utilizar e as tarefas a realizar no âmbito de um Ambiente Virtual urbano. O resultado desse estudo é um conjunto de técnicas de interacção que foram implementadas em cada um dos três módulos descritos na arquitectura, consoante o dispositivo responsável pela sua execução.

Esta plataforma imersiva permite várias configurações de técnicas de interacção com AVs, muitas delas concorrentes. Tal como referido na formulação do problema, as técnicas de interacção podem ser caracterizadas de três modos: manipulação do ponto-de-vista, manipulação de objectos e controlo de sistema [Han97]. Também Bowman e Hodges [BH99] utilizam esta caracterização na construção da sua taxonomia, descrita no ponto 2, deixando porém de parte o terceiro modo, por considerar que "(...)tarefas de controlo de sistema, geralmente, podem ser caracterizadas como tarefas de selecção e/ou manipulação.". Neste caso esta exclusão é aplicável, visto o estudo se encontrar focado na interacção no âmbito do Ambiente Virtual, o que exclui as tarefas de controlo de sistema, cuja definição, segundo Chris Hand [Han97], é: "(...)comunicação entre o utilizador e o sistema, que não é uma parte do Ambiente Virtual." Assim, esta taxonomia será utilizada para caracterizar as técnicas, bem como para construir, a solução do problema.

#### 3.3.1 Manipulação do ponto-de-vista

Hand descreve este modo como "(...)as tarefas de navegação no AV, através da movimentação do ponto-de vista, bem como o controlo dos parâmetros de visualização como o factor de zoom e campo-de-visão. A taxonomia a utilizar vai ao encontro desta definição, referindo três componentes que devem ser incluídos em qualquer técnica de navegação: "Selecção de direcção/destino", "Selecção da velocidade/aceleração" e as "Condições de entrada". As suas caracterizações podem ser consultadas nas figuras 2.4, 2.5 e 2.6, respectivamente.

No que se refere à "Selecção da direcção/destino", a solução procura tirar partido de duas das técnicas possíveis, tentando desta forma colmatar as lacunas de cada técnica e potenciar os seus pontos fortes, através de uma boa integração. A figura 3.8 apresenta essa duas técnicas.



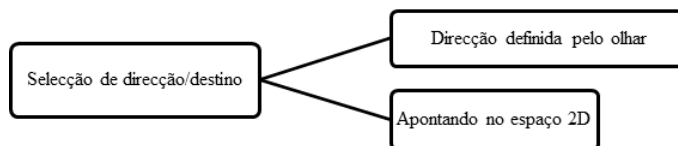


Figura 3.8: Caracterização da solução para a selecção da direcção/destino

A utilização de técnicas de "Definição de direcção pelo olhar" compreende a utilização das potencialidades do HMD, enquanto dispositivo de visualização do AV, com capacidade para detectar os movimentos da cabeça, através da IMU. Tal como mencionado, aquando da enumeração das potencialidades deste dispositivo, esta técnica permite libertar as duas mãos para outros tipos de interacção, para além de aumentar a sua naturalidade, dada a semelhança da mesma com a interacção real. O *feedback* cinestésico, que fornece, é outro aspecto de extrema relevância. No entanto, esta técnica, tal como enaltecido por Mine e Bowman et al., introduz uma limitação que prejudica o desempenho do utilizador na realização de tarefas de procura, ou exploração do ambiente, pois o utilizador é obrigado a olhar na direcção a que pretende deslocar, muito à semelhança do que acontece com a solução tradicional constituída pelo rato e teclado. Este é um facto insustentável numa solução para exploração de AVs urbanos, onde se pretende que o utilizador efectue tarefas com essas características.

A introdução de um solução mista em que, juntamente com esta técnica, é utilizada uma técnica de "Apontando no espaço 2D" (recorrendo ao rato 3D), que torna possível movimentar a cabeça, enquanto acontece o deslocamento. Nesta situação, entram em acção as potencialidades do rato 3D, pois só tirando partido dos diversos graus de liberdade, que este dispositivo fornece, é que é possível não descurar os tipos de deslocamento possíveis. Ao contrário, do tradicional teclado, através dos movimentos do controlo central (figura 3.6), o rato 3D permite manter a possibilidade de orientação da direcção do deslocamento, de forma muito mais intuitiva, através de rotações totalmente independentes do movimento da cabeça. Esta técnica mista vê o seu valor corroborado pelo estudo realizado por Ruddle et al. [RPJ99], cujas conclusões realçam os benefícios deste tipo de solução.

Técnicas como as "Seleccção discreta" e "Direcção definida apontando/gesto", apesar de terem sido tidas em conta, foram descartadas. O primeiro tipo de técnicas, utilizando a classificação concebida por Mine, caem dentro do grupo dos controlos virtuais, mencionado aquando da formulação do problema, no primeiro capítulo. Estas técnicas, apesar da sua grande flexibilidade e aplicabilidade a quase todas as situações, pecam pela falta de naturalidade e maior complexidade de implementação [Min95]. Para além disso, são técnicas que tiram muito pouco partido das potencialidades dos dispositivos que constituem a plataforma imersiva. Por sua vez, as técnicas de "Direcção definida apontando/gesto" foram alvo de um estudo mais profundo.

Ao conceber a taxonomia, um dos estudos realizados por Bowman e Hodges, foi precisamente a comparação entre a uma técnica de "Definição da direcção pelo olhar" e outra de "Direcção

definida apontando/gesto". A segunda técnica apresentou uma performance bastante melhor, no entanto, o defeito apontado à primeira técnica era exactamente aquele que foi colmatado, com a adição do rato 3D, para a criação de um técnica mista. Assim, dada a maior proximidade da solução adoptada à realidade e o facto de as soluções que recorrem a movimentos da mão, ou do braço provocarem cansaço nos utilizadores [Min95], esta acabou por ser descartada.

Seguindo agora para a segunda componente descrita na taxonomia como necessária, para uma técnica de navegação, "Seleção da velocidade/aceleração", apenas uma das técnicas foi adoptada (apresentada na figura 3.9).

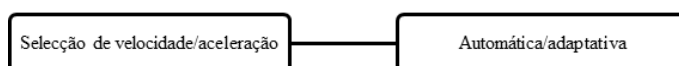


Figura 3.9: Caracterização da solução para a selecção da velocidade/aceleração

A escolha das técnicas nesta instância está directamente ligada à solução adoptada, para a componente anterior, visto ter de ser implementada com o rato 3D, o dispositivo responsável pelas translações. Assim, técnicas do tipo "Baseada em gestos" e "Seleção explícita" estão excluídas à partida, por não tirarem partido das potencialidades do dispositivo. Técnicas do tipo "Escalamento do utilizador/ambiente" pecam por não permitirem ao utilizador o conhecimento do ambiente que advém de uma navegação normal, o que no sistema em causa faz pouco sentido, pois um dos seus objectivos é precisamente a exploração do ambiente.

Sobram então dois tipos de técnicas: "Velocidade/aceleração constante", ou "Automática/adaptativa". Antes de mais é importante referir que a escolha da variável a tratar, velocidade ou aceleração, é bastante importante. Numa solução com velocidade constante, o utilizador navega sempre à mesma velocidade, definida aquando da implementação do sistema. Já no caso da aceleração constante a velocidade do utilizador aumenta, enquanto durar a navegação. Esta última solução, em ambientes vastos, como é o caso, pode provocar situações em que o utilizador perde totalmente a noção de onde se encontra no ambiente, principalmente se forem permitidos modos de navegação que permitem ao utilizador "voar" indiscriminadamente. Assim, a escolha óbvia para variável a tratar será a velocidade, restando apenas a escolha entre "constante", ou "Automática/adaptativa".

A solução "Automática/adaptativa" é mais flexível, pois permite para diferentes situações utilizar velocidades, apesar de constantes, diferentes. No fundo, pode ser considerada uma evolução à primeira hipótese, em que a velocidade varia consoante as características da navegação. Imaginemos, para clarificar, a diferença entre uma possível navegação pedestre, ou com recurso a algum tipo de veículo (carro, mota, autocarro, etc.), num AV urbano. Certamente, a velocidade nas duas situações, até por uma questão de realismo, deveria ser diferente.

Por fim, o último dos componentes essenciais, para a construção de uma técnica de navegação, "Condições de entrada". A solução para esta componente é apresentada na figura 3.10.



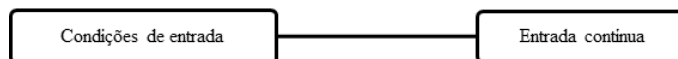


Figura 3.10: Caracterização da solução para as condições de entrada

Esta solução é realmente a única escolha de entre as possíveis, dadas as características do sistema. Por forma a que exista maior imersividade, o utilizador necessita da percepção de que as suas acções causam algum efeito no ambiente, por isso quanto mais refinado e contínuo for o *input* do utilizador, maior será a sua imersão.

Soluções que passam, por viajar incessantemente pelo ambiente, ou por iniciar/terminar a navegação, independentemente da vontade do utilizador, provocam no utilizador uma sensação de passividade em relação ao que acontece no ambiente, que acaba por causar desinteresse e quebrar a imersividade. Por outro lado, dada a escolha de solução realizada para a primeira componente, comandos de entradas que iniciam, ou terminam a navegação não tiram partido das potencialidades do rato 3D, para além de a interacção que fornecem não ser tão natural e intuitiva.

### 3.3.2 Manipulação de objectos

A manipulação de objectos é uma tarefa complexa que pode tomar várias formas. Condição necessária para a manipulação de um objecto é a selecção do mesmo, assim como o acto de libertar o objecto após a sua manipulação [BH99]. Os tipos de manipulação de um objecto são diversos (rotação, translação, criação, eliminação, entre outros [Shn91] [HHA85]) e variáveis, dependendo do objecto em causa, das características do ambiente em que se insere e das próprias limitações do utilizador. As caracterizações destes componentes, "Seleção", "Manipulação" e "Libertação", que constituem uma técnica de manipulação de um objecto, podem ser consultadas nas figuras 2.7, 2.8 e 2.9, respectivamente.

Abordando agora a primeira componente em concreto, existem três problemas distintos: "*Feedback*", "Indicação do objecto" e "Indicação para seleccionar". Os tipos de técnicas escolhidos para cada uma das situações encontram-se apresentados na figura 3.11.

No que toca ao problema do "*Feedback*", a opção por técnicas "Gráficas" e "Tácteis" é bastante intuitiva.

Os Ambientes Virtuais são, antes de mais, ambientes gráficos gerados por computador e, por isso, o *feedback* gráfico é o mais primário neste sistemas. Aliás, poderá ser afirmado que é mesmo essencial: a falta de *feedback* gráfico produz no utilizador a sensação de que o ambiente é estanque e, como tal, a sua interacção não tem consequências. Já o *feedback* tátil é extremamente dependente dos meios de interacção a utilizar, mas tal como será constatado posteriormente, nesta instância a *Data Glove* será um dos meios de interacção e, dessa forma, este tipo de técnicas são introduzidas naturalmente.



Figura 3.11: Caracterização da solução para a selecção de um objecto

Dada a percepção que o ser humano possui do seu próprio corpo, ao realizar um gesto, ou movimento com a mão que produza uma certa consequência no sistema, não é necessária a visualização dessa mesma consequência, pois existe a noção natural de que o gesto, ou movimento foram executados. Isto é uma forma de *feedback* táctil. Caso a *Data Glove* permitisse seria interessante a introdução de uma verdadeira sensação de tacto que torna-se possível, por exemplo, interpretar as características de uma dada superfície, recorrendo ao toque do objecto virtual e a impulsos vibratórios da luva.

Passando agora à análise da "Indicação do objecto" os tipos de técnicas escolhidos foram apontar, através do olhar e no espaço 2D. Poderá causar alguma estranheza a não utilização da luva, para a indicar o objecto a seleccionar, recorrendo a técnicas como apontar, ou tocar o objecto, e a utilização de duas técnicas que recorrem ao HMD e ao rato 3D, respectivamente. No entanto, a justificação prende-se com três factores: se pensarmos na nossa interacção com o mundo real, verificamos que antes de interagir com um objecto, normalmente temos necessidade de olhar para ele, sendo que apenas depois realizamos uma acção propriamente dita, como por exemplo, agarrar o objecto; o segundo factor diz respeito ao facto de a *Data Glove* possuir uma API que fornece um conjunto de gestos estáticos que são detectados, ou seja, a detecção de movimentos compostos (necessários para técnicas de apontar, ou tocar o objecto) é uma tarefa difícil neste caso; por fim, a possível necessidade de movimentos mais refinados e controlados, para interagir com certos objectos virtuais. Os primeiros dois factores são responsáveis por descartar as técnicas que envolvem o uso da luva e a introdução da técnica que faz uso do HMD. Já o terceiro factor é o responsável pela introdução da técnica que recorre ao rato 3D, pois, tal como referido por Mark Mine, este tipo de dispositivos são indicados para interacções mais precisas e refinadas.

Para terminar a componente de "Seleção", apenas analisar a escolha efectuada para o problema "Indicação para seleccionar". A introdução de técnicas que recorrem a botões é a mais tradicional e faz sentido, tendo em conta a escolha efectuada, para o problema anterior, de introdução de uma técnica de apontar no espaço 2D, com recurso ao rato 3D. Utilizando esta técnica

de "Indicação do objecto" faz sentido a utilização de um dos botões do rato 3D, para formalizar a selecção. É uma realidade que o HMD torna difícil a utilização dos botões do rato 3D, ainda assim, dado o design deste dispositivo, a utilização dos botões à direita do controlo central são independentes da necessidade de olhar, no entanto, a utilização deste método deve ser bem ponderada e, particularmente bem estudada. Já a introdução de gestos parece ir ao encontro da justificação fornecida, para a utilização da técnica que recorre ao HMD, no problema anterior. A luva, desta feita, permite esta técnica de interacção, pois tratam-se de gestos isolados, e a naturalidade parece sair aumentada, dada a semelhança da interacção com a real (em primeiro lugar olhar para o objecto a seleccionar, em seguida efectuar uma acção, neste caso um gesto, para formalizar a mesma). A possibilidade de que os gestos poderem ser iguais aos utilizados na realidade, tal como agarrar, cerrando a mão, ou apontar, usando o dedo indicador, dão mais força ainda ao argumento anterior.

Seguindo para o componente da manipulação, cuja solução pode ser constatada com recurso à figura 3.12, convém salientar alguns aspectos em relação ao que poderá ser a manipulação de um objecto, num AV urbano. Tratando-se de ambientes virtuais que tentam reproduzir uma cidade real, a alteração de posição e orientação de objectos (edifícios, ruas, etc.), não será o objectivo, pois esses serão aspectos bem definidos à partida. Sendo esta solução direccionada para a exploração destes ambientes a manipulação dos objectos prender-se-á com a obtenção de informações e, por ventura, criação/edição, de determinadas características dos objectos. Assim, é necessário algum cuidado na escolha das técnicas de interacção, por forma a não complicar a realização das tarefas, com a introdução de técnicas de interacção muito elaboradas.

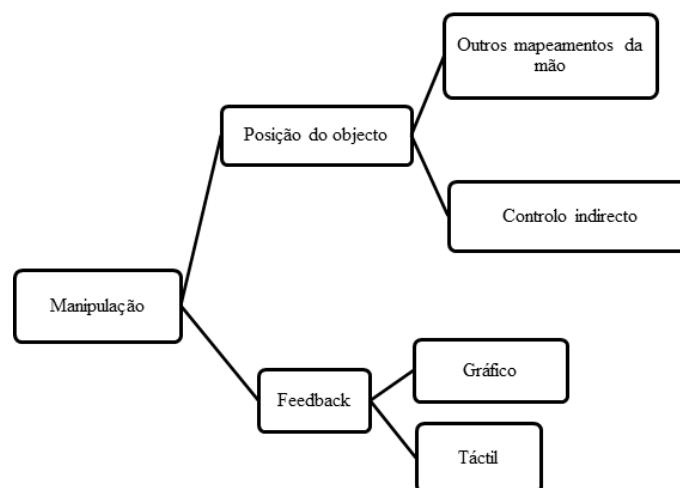


Figura 3.12: Caracterização da solução para a manipulação de um objecto

As técnicas de ligação ao objecto foram descartadas, com fundamento na razão, já mencionada, de não ser o objectivo destes sistemas a manipulação dos objectos virtuais em concreto. Já as técnicas relativas à posição/orientação do objecto, apesar de não serem utilizadas para esse

efeito, fazem sentido para os tipos de manipulação a realizar. Foram por isso consideradas as técnicas de manipulação da posição do objecto, por serem mais completas.

Através da imagem que apresenta a solução é possível constatar a escolha de duas técnicas: "Outros mapeamentos da mão" e "Controlo indirecto". A primeira escolha prende-se, essencialmente, com limitações já descritas da luva, que limitam a sua utilização a gestos isolados, impossibilitando as outras técnicas que fazem uso da *Data Glove*. A inclusão do "Controlo indirecto" pretende cobrir determinadas situações em que, por necessidade, seja necessária a introdução de informação mais complexa, como por exemplo, alfanúmerica.

É possível compreender que o mapeamento do abecedário em gestos é impossível e tais informações teriam de ser passadas ao sistema de forma mais tradicional, recorrendo ao rato 3D e um teclado virtual, por exemplo. Quem diz esta tarefa, diz tantas outras que, dada a sua complexidade, possivelmente continuarão a ser executadas recorrendo a tradicionais janelas de criação, edição, consulta, etc., estando o verdadeiro desafio associado à sua inclusão de tal forma no sistema que, a quebra de imersividade introduzida pela sua utilização, seja marginal.

As técnicas referentes à componente do "*Feedback*" são as mesmas e possuem as mesmas justificações referidas na componente de "Seleção".

Por último, temos a componente da "Libertação", que levanta dois problemas: "Indicação para largar" e "Localização final do objecto". Os tipos de técnicas que formam a solução, para esta componente são representados na figura 3.13.

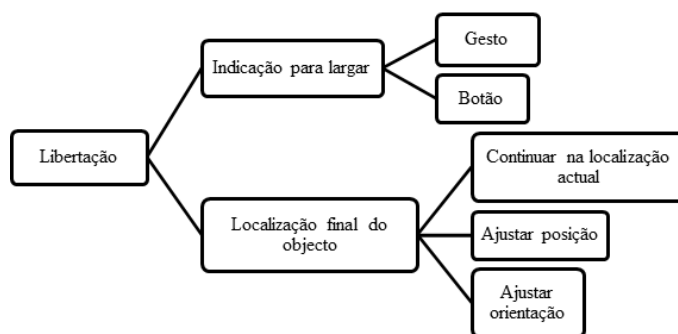


Figura 3.13: Caracterização da solução para a libertação de um objecto

O problema "Indicação para largar" é semelhante ao já abordado "Indicação para seleccionar", dizendo, no entanto, respeito ao processo inverso (terminar a manipulação de um objecto), estando disponíveis os mesmo tipos de técnicas para a sua resolução. Os tipos de técnicas a adoptar poderiam não ser os mesmos, caso na manipulação houvesse uma mudança nos dispositivos, mas tal não acontece, continuando a *Data Glove* e o rato 3D a ser os escolhidos. Assim, pelas mesmas razões referidas no problema "Indicação para seleccionar", consoante o dispositivo em utilização na manipulação do objecto, a finalização da mesma poderá ser efectuada com recurso a gestos, ou botões do rato 3D.

O fim da manipulação levanta a questão sobre o que deve acontecer ao objecto manipulado. Tal como descrito anteriormente, a possível manipulação no tipo de sistemas em causa, não incorre em grandes alterações de posição/orientação dos objectos que constituem o ambiente, mas, a alteração de algumas características poderá fazer sentido e assim, assume-se que essas deverão ser ajustadas, após a manipulação. Possíveis janelas a utilizar para manipular objectos são também elas objectos virtuais e, após concluída a manipulação, deverão sofrer ajustes, nomeadamente, alterações na posição, ou mesmo o fecho. No entanto, em determinadas situações, por exemplo de consulta de informações, deverá ser mantido o estado do objecto.

### 3.4 Sumário

Ao longo deste capítulo foram apresentados os três pontos que fizeram parte do processo de construção da solução para o problema em causa. São eles: a arquitectura, a plataforma imersiva e as técnicas de interacção.

Em termos de arquitectura o resultado foi uma arquitectura constituída por três módulos, um para cada dispositivo. Cada um desses módulos é responsável pela utilização da API disponível para o dispositivo em causa, na implementação das técnicas de interacção descritas na solução imersiva que recorrem a esse mesmo dispositivo. O conjunto dos três módulos forma a interface entre os dispositivos e, consequentemente, o utilizador e o Ambiente Virtual.

Relativamente à plataforma imersiva, as conclusões foram claras: apesar de algumas limitações, todos os dispositivos apresentam potencialidades para fazerem parte dessa plataforma, não apresentando restrições à utilização síncrona.

Por fim, no que toca à solução imersiva, foram tratados dois modos de interacção que abrangem grande parte das tarefas a realizar em AVs: manipulação do ponto-de-vista e manipulação de objectos. Para o primeiro modo de interacção foi apresentada uma solução que passa pela utilização de dois dos dispositivos disponíveis, o HMD e o rato 3D, procurando desta forma potenciar os aspectos positivos de cada e minimizar os negativos. O HMD é responsável pela definição da direcção/sentido do movimento, através dos movimentos da cabeça monitorizados pela IMU acoplada. Por sua vez, o rato 3D é utilizado para definir os movimentos translacionais do ponto-de-vista, tendo sido, no entanto, adicionada a possibilidade de, recorrendo aos movimentos rotacionais possíveis do rato 3D, redireccionar a direcção/sentido do movimento. Desta forma, procurou-se permitir ao utilizador olhar ao seu redor enquanto se desloca, o que de outra forma não seria possível. Relativamente, ao segundo modo as soluções apresentadas passam pela utilização da *Data Glove* e do rato 3D, sendo que a luva é utilizada apenas como forma de concretização de comandos através de gestos, enquanto o rato 3D é apresentado como solução para tarefas que requerem uma interacção mais precisa e refinada.

## Metodologia

## Capítulo 4

# Caso de estudo

O capítulo que se segue tem como objectivo apresentar pormenores da utilização da solução imersiva, apresentada no capítulo anterior, para construir uma solução concreta, tendo como alvo o sistema 3DWikiU.

Desta forma, o 3DWikiU será um caso de estudo que permitirá compreender a utilidade da solução imersiva construída, como ponto de partida para a construção de soluções para sistemas concretos recorrendo à plataforma imersiva. Esta abordagem é validada pelos testes de usabilidade realizados à solução concebida para o 3DWikiU, para além das conclusões referentes à usabilidade da solução para o sistema.

### 4.1 Sistema

O 3DWikiU, tal como mencionado na formulação do problema, é um sistema que procura tirar partido de dois conceitos, Ambiente Virtual e Wiki, por forma a disponibilizar, através de uma interacção mais natural e intuitiva, os mais diversos serviços possíveis em ambientes urbanos. Para tal, este sistema tem de permitir um conjunto de funcionalidades que torne possível realizar as tarefas necessárias à concretização destes objectivos.




A construção da solução concreta depende da adaptação das técnicas que constituem essa solução às funcionalidades disponibilizadas pelo 3DWikiU. Essa adaptação dá origem a um conjunto de comandos, a executar com os três dispositivos que constituem a plataforma imersiva, cada um deles responsável por desencadear uma acção no sistema. O encadeamento de várias acções leva à concretização de uma dada tarefa. Outro ponto relevante é a adaptação da arquitectura, com o objectivo de concretizar a implementação da solução no sistema.

A compreensão das funcionalidades disponibilizadas pelo 3DWikiU foi o primeiro passo necessário para a adaptação da solução imersiva ao sistema. Essas funcionalidades podem ser organizadas em três grupos: modos de interacção, ferramentas e serviços. Segue-se uma descrição detalhada de todas as funcionalidades de cada grupo.

#### 4.1.1 Modos de interacção

O 3DWikiU requer dois tipos de interacção: interacção com o ambiente virtual e interacção com a interface (janelas, botões, ícones, etc.). Para tal, disponibiliza três modos de interacção, apresentados na tabela 4.1.

Tabela 4.1: Modos de interacção

Ícone	Descrição
	<i>Interface mode</i>
	<i>Flying mode</i>
	<i>Walking mode</i>

O primeiro, *Interface mode*, é o modo responsável pelas interacções com a interface. É usando este modo de interacção que o utilizador interage com as janelas, botões, ícones, etc., que aparecem no sistema.

Os dois modos de interacção seguintes são modos de interacção com o Ambiente Virtual, cuja diferença se encontra na navegação. O modo *Flying mode* autoriza uma navegação sem restrições pelo AV, enquanto o *Walking mode* limita a altura da navegação, por forma a simular a locomoção pedestre humana.

#### 4.1.2 Ferramentas










As ferramentas são um conjunto de funcionalidades disponibilizadas pelo sistema que têm por vista facilitar a interacção, fornecendo ao utilizador a possibilidade de aceder a informação relevante, ou executar certas acções de forma mais rápida. Através da tabela 4.2 é possível visualizar o conjunto dessas funcionalidades que fazem uso de um ícone, disponibilizado numa janela da interface, para permitir a sua utilização. Ao serem apresentadas desta forma, estas são ferramentas apenas disponíveis em *Interface mode*.

Para além das ferramentas disponibilizadas através de ícones existe uma ferramenta que permite ao utilizador, quando em *Flying mode*, ou *Walking mode*, voltar ao ponto de origem. É também nestes modos que é disponibilizada a ferramenta de selecção, muito importante para a interacção com os objectos do Ambiente Virtual. É através da ferramenta de selecção que é possível executar o conjunto de serviços disponíveis (abordados no tópico seguinte), para um dado objecto. Para efectuar a selecção de um objecto são necessários os seguintes passos:

- Apontar qual o objecto a seleccionar, através do deslocamento do ponto-de-vista, por forma a que a mira no centro do ecrã fique sobre o objecto;
- Efectuar uma vez o comando de selecção que destaca o objecto seleccionado;



Tabela 4.2: Ferramentas

Ícone	Descrição
	Janela de conversação de texto que permite a comunicação entre utilizadores.
	Janela do mini-mapa que permite a visualização do ambiente segundo uma projecção ortográfica.
	Janela de ajuda que fornece ao utilizador informações sobre a utilização do sistema.
	Janela que lista todas as entidades, nomeadas por tipo (rua e edifício), e que permite pesquisar por nome.
	Janela com a lista de todos os relatórios submetidos, podendo alternar entre o estado(aberto, ou fechado) e tipos.
	Janela que permite pesquisar um local e navegar até ele.
	Google Maps na posição actual do utilizador.
	Janela que permite mostrar/ocultar os marcadores sobre as entidades com as quais é possível interagir.
	Fechar a aplicação.

- Caso o objecto a seleccionar seja o destacado, então deve ser realizado, novamente, o comando de selecção, para confirmar a selecção.









A justificação, para a implementação do mecanismo de selecção a dois tempos, encontra-se no facto de grande parte dos serviços a executar serem morosos o que, em caso de engano na selecção, com um mecanismo a um tempo, significaria uma perda de tempo desnecessária, para o utilizador. Desta forma se, após o primeiro comando de selecção, o utilizador constatar que o objecto destacado para selecção não é o pretendido, é possível iniciar o processo de selecção no objecto correcto, de uma forma mais rápida.

Todas as ferramentas, com excepção das responsáveis pela execução de uma determinada acção (deslocamento do utilizador para o ponto de origem, fechar a aplicação e selecção), são ferramentas, cuja interacção é disponibilizada, através de novas janelas que surgem na interface.

### 4.1.3 Serviços

O 3DWikiU suporta quatro serviços, que podem ser consultados na tabela 4.3, aos quais estão associados um ícone e uma cor específica. Todos estes serviços são disponibilizados recorrendo a uma nova janela na interface. O serviço que se encontra activo pode ser constatado através do ícone junto da mira, no centro do ecrã.

Tabela 4.3: Serviços disponíveis

Ícone	Pino	Descrição
		Edição de propriedades
		Página de serviço
		Reportar problemas
		Outras páginas web

O primeiro serviço, tal como o nome indica, permite editar as propriedades de um objecto. Este é um serviço que se adapta consoante o objecto seleccionado. No caso dos edifícios é possível alterar, por exemplo, a altura e a textura, enquanto que no caso de uma rua só é possível alterar o seu nome.

O serviço seguinte permite abrir uma página *web*, na qual é possível visualizar vários detalhes sobre o objecto.

"Reportar problemas" é um serviço que torna possível enviar um relatório de um problema associado a um objecto. Ao executar este serviço surge uma janela com todos os relatórios submetidos sobre o objecto seleccionado, podendo ser alterada a vista entre os ainda abertos e os já fechados. Isto permite ao utilizador ver se já houve, ou existe, algum relatório relacionado com o

mesmo problema que pretende reportar, evitando a duplicação. Caso este facto não se verifique, é possível enviar um relatório, com recurso a uma nova janela, na qual pode ser inserido um título descritivo e uma explicação do problema. Um objecto com relatórios associados é caracterizado por um ponto de exclamação localizado sobre o mesmo. Este ponto de exclamação mantém-se sobre o objecto até que todos os relatórios sejam fechados.

Por último, temos um serviço que possibilita associar/visualizar páginas *web*, que possam estar associadas a um determinado edifício.

## 4.2 Comandos

Neste tópico são apresentados os comandos definidos, a ser executados, com recurso a cada dispositivo que constitui a plataforma imersiva, para levar a cabo a interacção com o sistema 3DWikiU. Para tal, efectuando a divisão entre dispositivos, são listadas as acções a executar, para cada funcionalidade. Todas as escolhas apresentadas são contextualizadas na solução imersiva do capítulo anterior.

### 4.2.1 *Head-Mounted Display*

O HMD é o veículo, ao nível da interacção com o 3DWikiU, para a execução das seguintes funcionalidades:

- orientação do ponto-de-vista nos modos de interacção *Flying mode* e *Walking mode*;
- indicação do objecto a seleccionar, para manipulação, nos modos de interacção *Flying mode* e *Walking mode*.

A primeira funcionalidade é conseguida através das capacidades de monitorização dos movimentos da cabeça, por parte da IMU acoplada ao HMD, permitindo ao utilizador controlar o "olhar virtual", através dos movimentos naturais da cabeça. Já a segunda tira partido do pressuposto criado pela primeira funcionalidade, definindo que o objecto a seleccionar é o que se encontra no centro do ecrã.







### 4.2.2 *Data Glove*

A API da luva disponibiliza um conjunto de dezasseis gestos que são detectados pela *Data Glove*. Para cada um destes gestos existem três posições da mão (detectadas pela IMU acoplada) possíveis: costas da mão para cima (1), costas da mão para a direita (2) e costas da mão para baixo(3), isto porque foi adoptada uma discretização dos movimentos da mão, para movimentos com amplitude de noventa graus.

O gesto e posição da mão a usar, para executar uma dada funcionalidade, depende, também, do modo de interacção activo, pois para diferentes modos de interacção, o mesmo gesto e posição da mão podem desencadear funcionalidades diferentes. Assim, com recurso às tabelas [4.4](#), [4.5](#)

e 4.6 são apresentadas as funcionalidades possíveis de executar utilizando a luva, para todos os modos de interacção *Interface mode*, *Flying mode* e *Walking mode*, respectivamente, respeitando as directrizes da solução imersiva.

Tabela 4.4: Funcionalidades associadas à *Data Glove*, no modo de interacção *Interface mode*

Gesto	Posição da mão	Funcionalidade
	2	Abre a janela de ajuda.
	1	Passa para a página seguinte, numa janela de interface.
	3	Passa para a página anterior, numa janela de interface.
	3	Fecha a janela de interface activa.
	2	Activa o modo de interacção <i>Flying mode</i> .
	2	Activa o modo de interacção <i>Walking mode</i> .

### 4.2.3 Rato 3D

Quando activo o modo *Interface mode*, o rato 3D, através da manipulação do ponteiro do rato, permite a interacção com as janelas da interface. Esta interacção é completada utilizando o botão indicado na figura 4.1 como "A", para a selecção de objectos, e um teclado virtual, como representado na figura 4.2, para a introdução de dados, quando necessário.

Por sua vez, quando um dos outros dois modos se encontra activo o rato 3D assume funções de navegação, permitindo ao utilizador, através dos movimentos do controlo central apresentados na figura 4.3, efectuar translações e rotações. As translações afectam o ponto-de-vista do utilizador, em termos de posição no espaço 3D, permitindo desta forma o deslocamento ao longo do Ambiente Virtual, sendo a restrição de altura de navegação do *Walking mode* tida em conta. As rotações não influenciam o ponto-de-vista, pois essa é uma tarefa já atribuída ao HMD, mas permitem reorientar a direcção do deslocamento a ser efectuado. Desta forma, o utilizador pode olhar numa direcção diferente da do deslocamento a ser executado, sem que se perca a capacidade

## Caso de estudo

Tabela 4.5: Funcionalidades associadas à *Data Glove*, no modo de interacção *Flying mode*








Gesto	Posição da mão	Funcionalidade
	2	Activa o modo de interacção <i>Interface mode</i> .
	2	Activa o modo de interacção <i>Walking mode</i> .
	1	Activa o serviço "Edição de propriedades".
	1	Activa o serviço "Página de serviço".
	1	Activa o serviço "Reportar problema".
	1	Activa o serviço "Outras páginas web".
	2	Efectua a selecção do objecto ao centro do ecrã. Quando executado duas vezes seguidas, sobre o mesmo objecto, é desencadeada a interacção com o objecto, segundo o serviço activo.



Figura 4.1: Botão disponível, na utilização do rato 3D

## Caso de estudo

Tabela 4.6: Funcionalidades associadas à *Data Glove*, no modo de interacção *Walking mode*








Gesto	Posição da mão	Funcionalidade
	2	Activa o modo de interacção <i>Interface mode</i> .
	2	Activa o modo de interacção <i>Flying mode</i> .
	1	Activa o serviço "Edição de propriedades".
	1	Activa o serviço "Página de serviço".
	1	Activa o serviço "Reportar problema".
	1	Activa o serviço "Outras páginas web".
	2	Efectua a selecção do objecto ao centro do ecrã. Quando executado duas vezes seguidas, sobre o mesmo objecto, é desencadeada a interacção com o objecto, segundo o serviço activo.



Figura 4.2: Teclado virtual

de reorientar esse mesmo movimento. Por fim, está disponível através do botão indicado na figura 4.1 como "B", a funcionalidade descrita anteriormente que permite reposicionar o utilizador no ponto de origem.

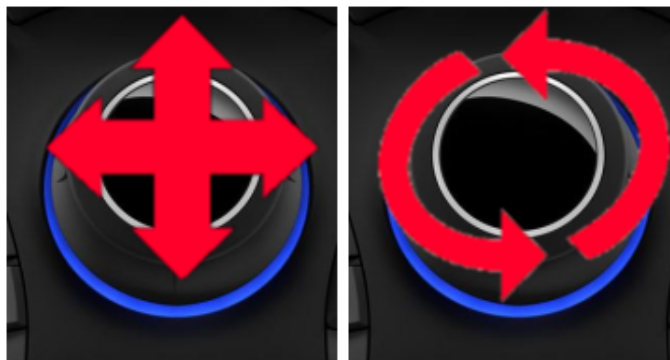


Figura 4.3: Comandos disponíveis no controlo central do rato 3D

### 4.3 Implementação

Do estudo efectuado à implementação do sistema 3DWikiU constatou-se que a tecnologia não seria uma barreira, visto este estar implementado na linguagem de programação C Sharp, com recurso à plataforma XNA. Este facto torna a implementação das funcionalidades mais transparente, pois todos os dispositivos disponibilizam uma API para esta tecnologia.

Segundo a arquitectura apresentada para a solução imersiva, cada dispositivo deve ser implementado como um módulo independente, recorrendo à API correspondente para monitorar as acções executadas com o dispositivo, desencadeando no sistema as alterações pretendidas. As figuras 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7 apresentam cada um delas um dos quatro grupos de classes que constituem o diagrama de classes resultante da implementação.

O primeiro grupo, entitulado 3DWikiU, constituído pelas classes: *UserCamera*, *ProfileManager* e *InputManager*, contém as classes do 3DWikiU que sofreram alterações. O restante sistema não se encontra apresentado, por se manter inalterado em relação à implementação original e, por isso, não ser relevante para esta análise. O segundo grupo, *Mouse 3D*, apresenta todas as classes relativas à implementação do módulo do rato 3D. Analogamente, o terceiro grupo, de título *Glove*, contém todas as classes criadas com a implementação do módulo da *Data Glove*. O quarto grupo, não é relevante para a análise a efectuar, visto conter apenas algumas *structs* e *enumerations* criadas aquando da implementação do rato 3D.

A primeira questão a abordar é a falta de um grupo de classes contendo a implementação do HMD, à semelhança dos outros dispositivos, o que seria lógico, dada a arquitectura modular definida na solução imersiva. No entanto, no caso do HMD, considerou-se que tal não seria necessário. O HMD interage apenas com um objecto do sistema original do 3DWikiU: a *UserCamera*, implementada pela classe de mesmo nome. Esta classe é responsável pela implementação

## Caso de estudio

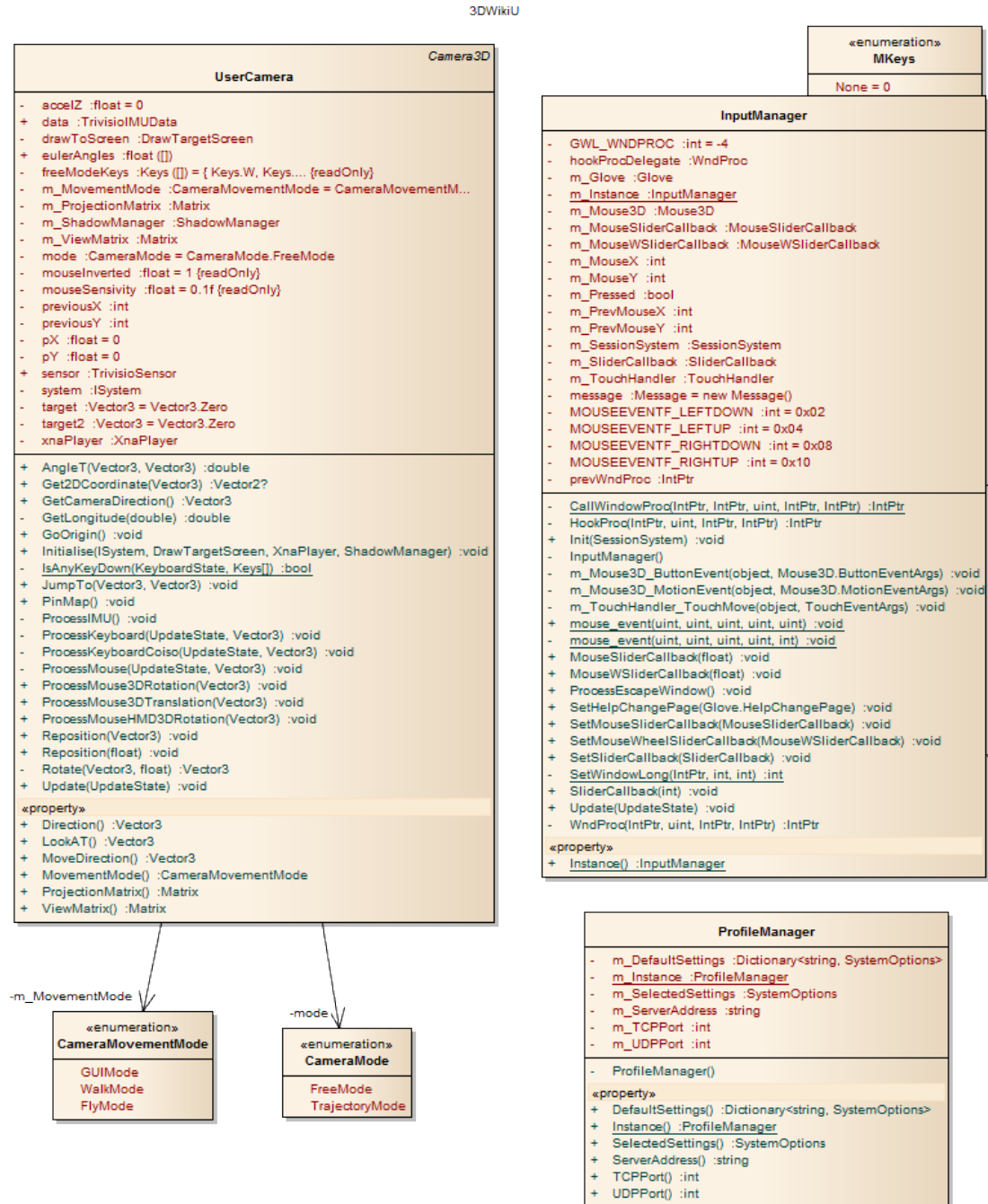


Figura 4.4: Grupo 3DWikiU



## Caso de estudo

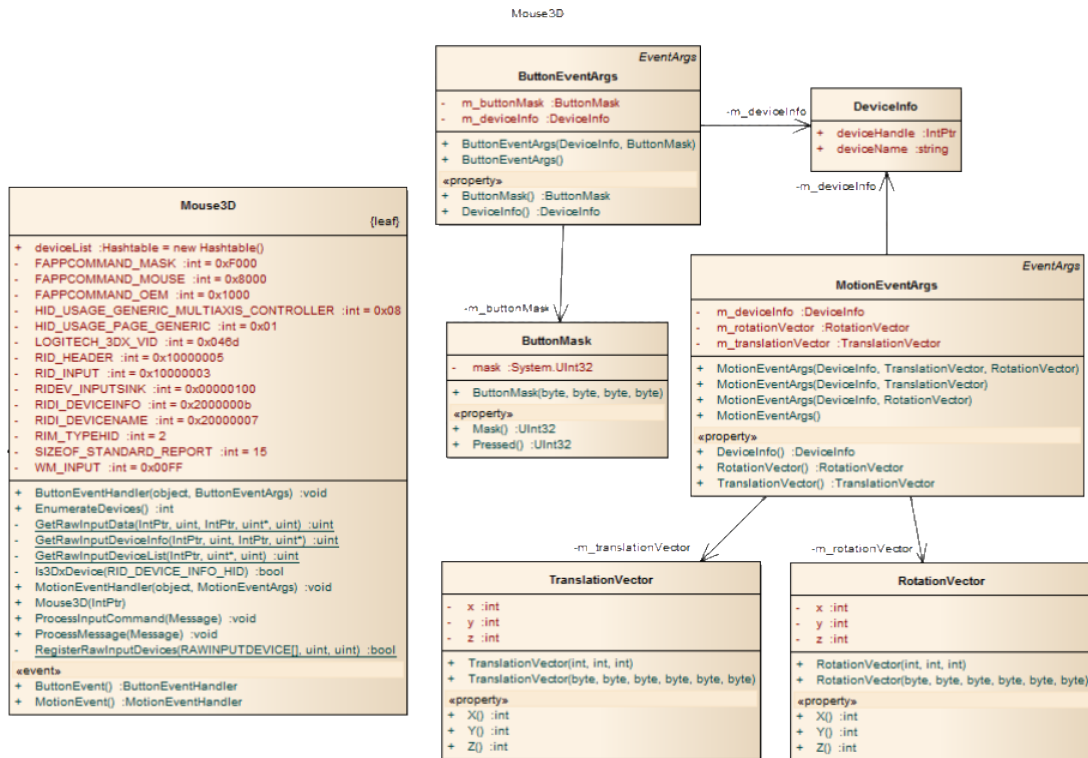


Figura 4.5: Grupo *Mouse 3D*

do ponto-de-vista do utilizador, encontrando-se aqui todas as informações sobre o seu estado, bem como os métodos para a sua manipulação. Pelo facto de o HMD ser apenas responsável pela manipulação do ponto-de-vista faz sentido, em termos organizacionais, que as suas funcionalidades sejam anexadas a esta classe.

Antes de partir para mais pormenor, realçar apenas que, ao longo deste documento, ao referir o dispositivo em questão, sempre se partiu do pressuposto de que este tinha uma IMU acoplada. Nesta instância é importante referir que o HMD, por funcionar como os mais tradicionais monitores, não necessita de qualquer implementação, sendo a implementação voltada para a IMU. A transparência da API deste dispositivo, para obtenção de dados tratados, é outro factor que influenciou na implementação destas funcionalidades na classe *UserCamera*.

Para a implementação do controlo da orientação do ponto-de-vista, com recurso aos movimentos da cabeça foram adicionados, à classe *UserCamera*, atributos de acesso ao sensor e de armazenamento dos dados obtidos, bem como uma propriedade para o processamento (*void ProcessIMU()*), que obtém os dados da IMU e, após tratamento, actualiza o estado da câmara. Neste processo, para além de propriedades da API para estabelecer a ligação com o dispositivo e para a obtenção dos dados, é utilizada uma propriedade da API, *void TrivisioSensor.EulerOri()*, que permite obter os ângulos de Euler (ângulos de rotação segundo os eixos x, y e z). Esta propriedade torna a associação dos valores obtidos do sensor com os valores dos ângulos de rotação da câmara directa.

## Caso de estudo

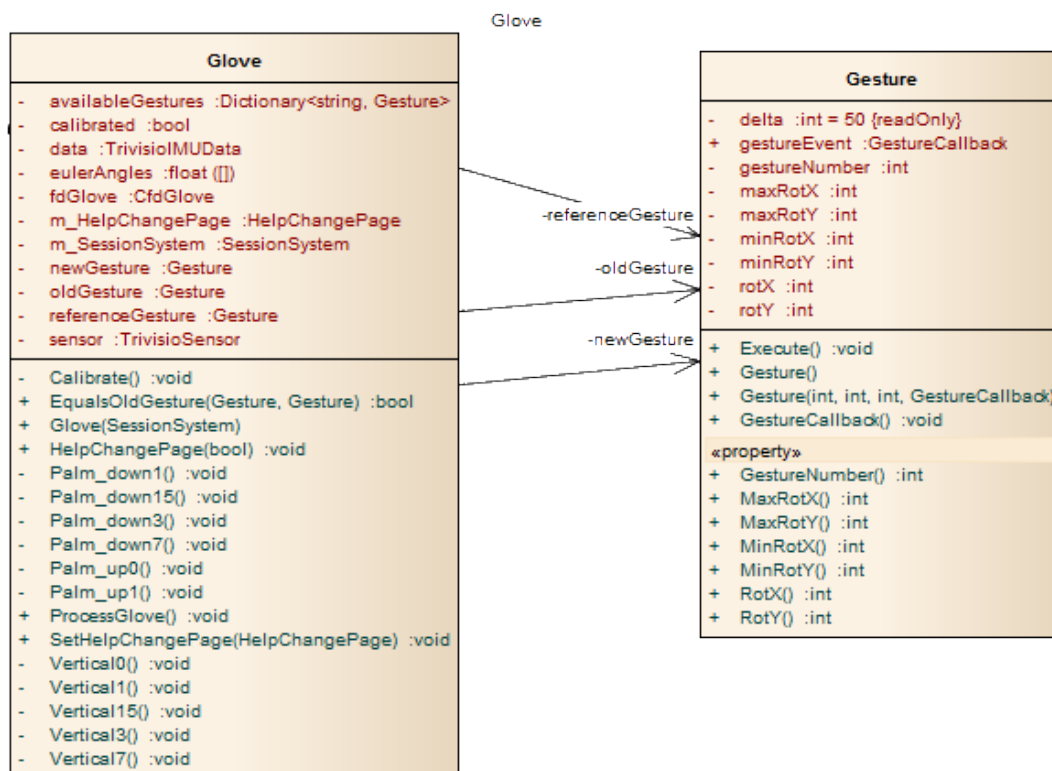


Figura 4.6: Grupo *Glove*

Mouse3D - Structs and Enumerations

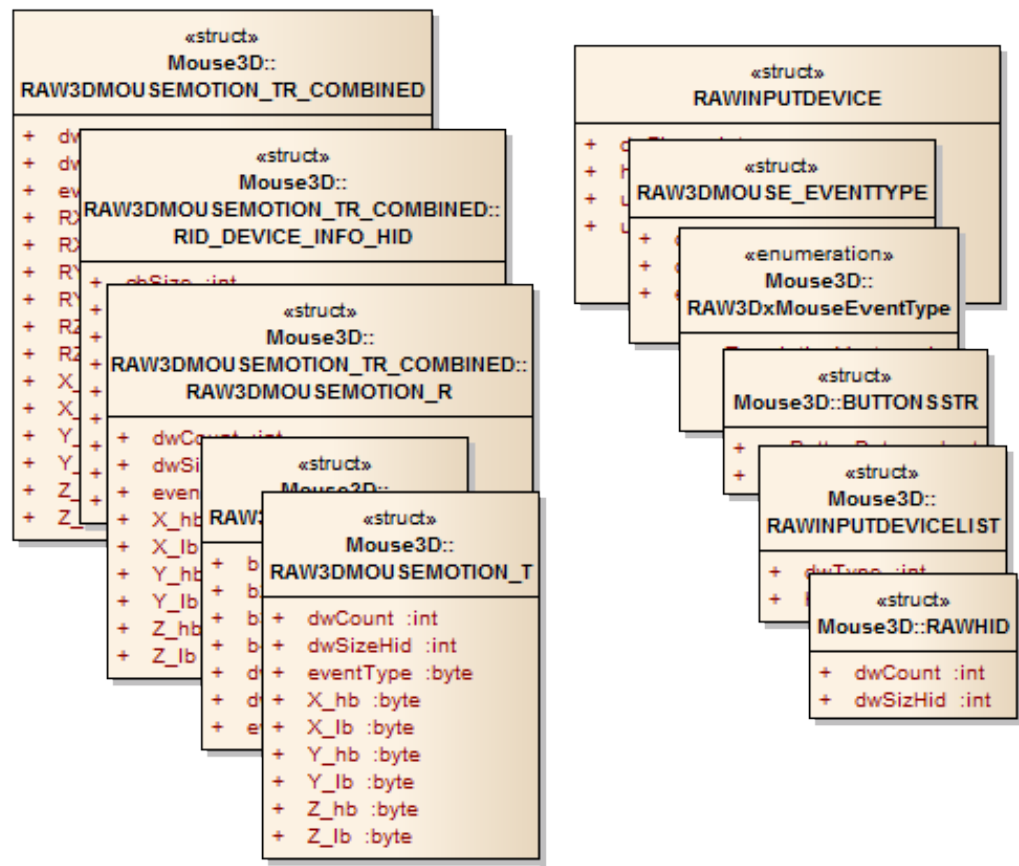


Figura 4.7: Grupo *Mouse 3D* - structs and enumerations

Passando agora à análise da implementação efectuada para o rato 3D é possível constatar através do diagrama que, para além da classe principal *Mouse3D*, foram implementadas seis classes adicionais. Estas classes são necessárias dada a opção por utilizar as facilidades da linguagem C Sharp, para a programação orientada a eventos, sendo estas classes destinadas aos argumentos dos eventos implementados. Foram criados dois tipos de eventos: *event ButtonEventHandler ButtonEvent* e *event MotionEventHandler MotionEvent*. O primeiro é o evento despoletado quando é premido um botão do rato 3D e o segundo quando é movido o controlo central. Estas técnicas permitem que, através da implementação dos *delegate ButtonEventHandler* e *MotionEventHandler*, qualquer objecto tenha conhecimento que um dos eventos foi despoletado e execute as acções necessárias. Desta forma, os dois objectos do 3DWikiU, com os quais o módulo do rato 3D tem de interagir, *UserCamera* e *InputManager*, implementam os dois *delegate*, executando, no seu contexto, as alterações necessárias ao sistema, como consequência da acção desencadeada com o rato 3D.

Relativamente ao módulo *Data Glove* foram criadas duas classes. A classe *Gesture* foi criada com o intuito de guardar a informação que constitui um gesto, nomeadamente, qual o gesto detectado pela *Data Glove* e a posição da IMU. Para utilizar, novamente, a programação orientada a eventos, a cada gesto foi também associado um evento despoletado, aquando da ocorrência do referido gesto. A classe *Glove* armazena todos os gestos disponíveis para execução e, através da monitorização constante da luva, sempre que detecta a execução de um desses gestos, desencadeia o referido evento. Esta classe implementa também os *delegate* dos eventos de todos os gestos, executando as alterações necessárias no sistema.

Para terminar esta análise, referir que a inclusão da classe *ProfileManager* no diagrama se deve às alterações efectuadas na mesma, para a criação do perfil de utilização com recurso à solução imersiva.

## 4.4 Testes

Os testes que suportam este caso de estudo foram realizados no âmbito do projecto 3DWikiU e tiveram lugar na Universidade de Trás-os-Montes, tendo sido utilizada uma amostra aleatória, constituída por dezassete pessoas. Dessas dezassete pessoas onze eram do sexo masculino e seis do sexo feminino, com idades compreendidas entre os dezanove e trinta anos.

Os testes compreendem cinco cenários distintos de utilização do sistema, sendo que cada cenário recorria a diferentes dispositivos de interacção. O primeiro cenário, entitulado Normal, fazia uso do tradicional rato e teclado, como dispositivos de entrada, e de um monitor como dispositivo de visualização. A diferença entre o primeiro cenário e o segundo (3D) prendia-se com o facto de o dispositivo de visualização ser um monitor 3D. No terceiro cenário (HDR) recorre-se ao teclado e ao rato para inserção de dados, e ao monitor *High Dynamic Range* para a visualização do mundo virtual. Por sua vez, o quarto cenário faz uso da solução imersiva desenvolvida ao longo desta dissertação. Por fim, o cenário Multitoque é constituído por um rato 3D, teclado virtual e ecrã táctil.

## Caso de estudo

O objectivo dos testes realizados passa por medir a usabilidade dos diferentes cenários, assim como, compará-los, por forma a compreender qual a hipótese mais viável, para o caso do 3DWikiU. Para tal, foi concebido um conjunto de tarefas a realizar por cada utilizador, recorrendo a duas métricas, para avaliar o seu desempenho: tempo de execução e número de erros.

As tarefas a realizar eram:

- Reportar problema;
- Editar textura de um edifício;
- Modificar a altura de um edifício com *handles*.

Para concretizar com sucesso a primeira tarefa, o utilizador tinha de:

- Navegar até ao local do problema;
- Seleccionar o serviço "Reportar problemas";
- Seleccionar a entidade onde existe o problema;
- Inserir o texto para o registo do problema;
- Seleccionar a opção de envio.

Por forma a realizar com sucesso a segunda tarefa, o utilizador precisava de:

- Navegar até ao local;
- Seleccionar o serviço "Editar propriedades";
- Seleccionar o edifício desejado;
- Seleccionar a textura pretendida.

Por fim, para levar a cabo a tarefa "Modificar a altura de um edifício com *handles*", o usuário devia:

- Navegar até ao local do edifício que será modificado;
- Seleccionar o serviço de edição de propriedades;
- Seleccionar a entidade;
- Alterar o tamanho do edifício com *handles*;
- Seleccionar a opção de guardar alterações.

Os testes foram realizados em ambiente controlado, sendo que os sujeitos realizaram a experiência individualmente. O procedimento é iniciado com o avaliador a explicar o objetivo do teste ao utilizador, sendo-lhe solicitado que preencha um pequeno questionário (anexo A). De seguida, é explicado ao utilizador quais as tarefas a executar, devendo o avaliador analisar o desempenho e estado do utilizador, de forma a retirar o máximo de informações possíveis e auxiliá-lo em caso de dúvida. Durante o teste, o utilizador tinha que se dirigir a três localizações distintas no mapa, onde o sujeito encontrava indicações sobre o que devia fazer e para onde se devia deslocar, após executada a acção. Em cenários onde a interação com o sistema era nova, havia uma etapa de treino, onde o utilizador executava três tarefas, sem serem avaliadas. No entanto, durante estes treinos os avaliadores deveriam retirar notas acerca das dificuldades de aprendizagem do sujeito. No final de cada teste foi pedido a cada sujeito que preenchesse um pequeno questionário (anexo B) que pedia para qualificar os diferentes cenários em diferentes aspetos.

Com o intuito de estabelecer um ponto de comparação com o cenário que decorre da concretização desta dissertação foi escolhida a hipótese mais tradicional, das apresentadas anteriormente, a Normal, tendo sido descartadas as restantes, dada a sua irrelevância para o estudo em questão. Desta forma, pretende-se perceber se a utilização de soluções semelhantes à desenvolvida justificam a substituição dos meios mais usuais.

## 4.5 Resultados

Neste tópico são apresentados os resultados obtidos dos testes descritos anteriormente, para cada uma das tarefas em causa: "Reportar problema", "Editar textura de um edifício" e "Modificar a altura de um edifício com *handles*".

### 4.5.1 Reportar problema

Com os dados recolhidos durante a navegação nesta tarefa, foi possível conceber o gráfico apresentado na figura 4.8.

Através da análise do gráfico podemos constatar que os desempenhos foram semelhantes em ambos os cenários, sendo de realçar a diferença considerável existente entre o tempo mínimo e o tempo máximo.

Durante a navegação, no âmbito da tarefa "Reportar problema", não houve registo de qualquer erro, em qualquer um dos cenários.

Passando agora para a análise do gráfico relativo à mudança de serviço, no contexto desta tarefa, os dados recolhidos em relação aos tempos de execução levaram a construção do gráfico ilustrado na figura 4.9.

Neste caso, existe uma discrepância considerável entre a eficácia dos dois cenários em análise. A mudança de serviço no cenário Normal leva em média um segundo, enquanto que no cenário Imersivo a mesma variável atinge os dois segundos. No entanto, não é aqui que se encontra a verdadeira diferença, mas sim no facto de no primeiro cenário o tempo máximo de execução ter

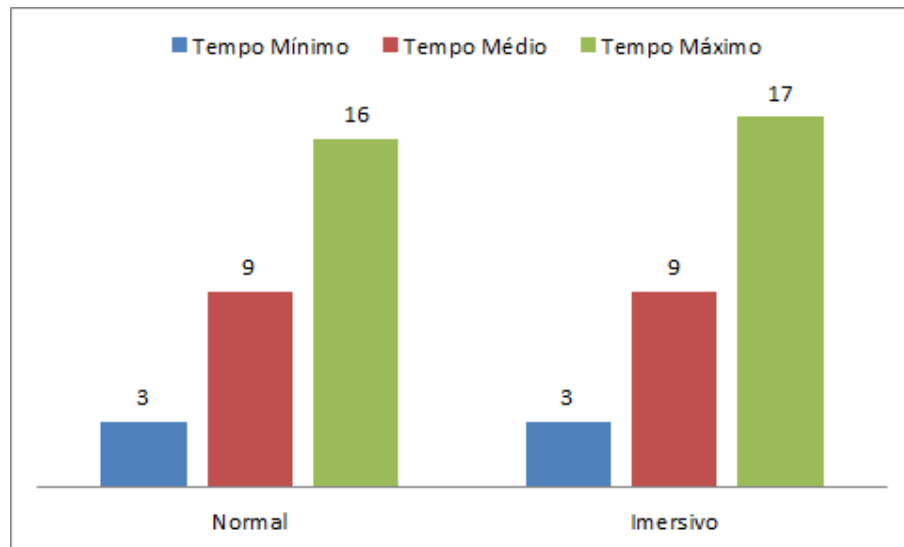


Figura 4.8: Tempo de execução da navegação na tarefa Reportar problema

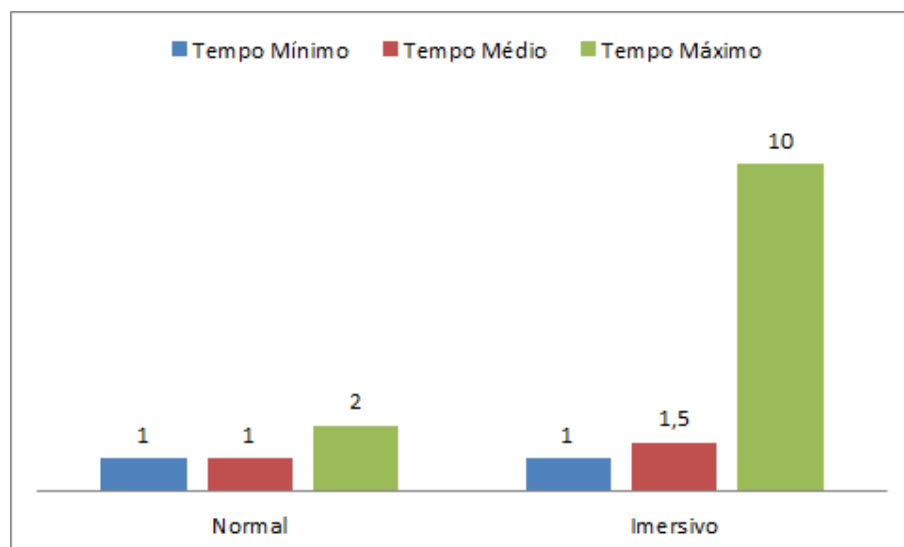


Figura 4.9: Tempo de execução da alteração de serviço na tarefa Reportar problema

sido dois segundos, enquanto que no segundo existiu, pelo menos um utilizador, que demorou dez segundos. Isto demonstra que alguns utilizadores tiveram dificuldade em mudar o serviço no cenário Imersivo, facto corroborado pela quantidade de erros existentes no cenário Imersivo: oito. Já no cenário Normal este valor cinge-se a um.

O próximo gráfico (figura 4.10), apresenta os tempos de execução referentes à selecção do objecto, na tarefa de "Reportar problema".

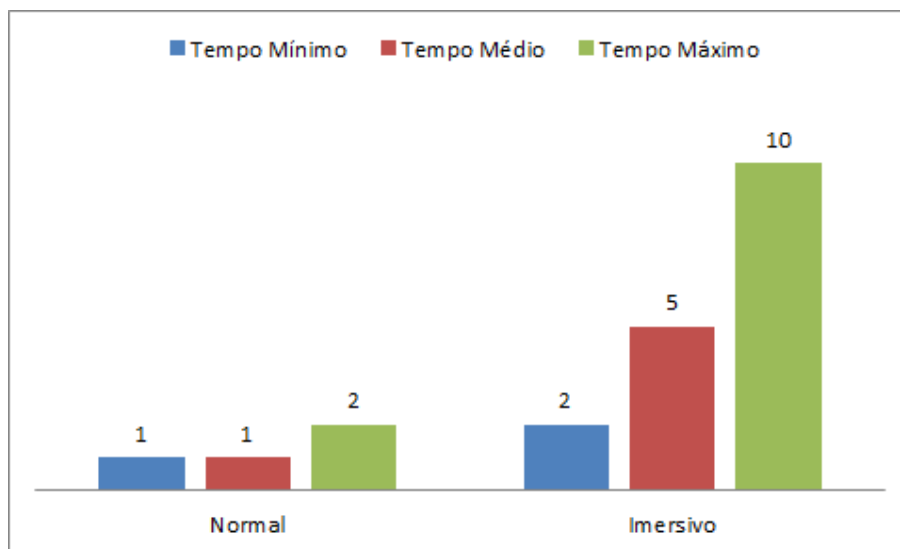


Figura 4.10: Tempo de execução da selecção do objecto na tarefa Reportar problema

A análise deste gráfico é bastante idêntica à do anterior, denotando os valores do cenário Imersivo alguma dificuldade na selecção do objecto por parte do utilizador, contrastando com a facilidade evidente no cenário Normal. Nesta caso, existe a agravante de o número de erros no cenário Imersivo ser o triplo de na situação anterior.

Seguindo para a inserção do texto e, consequente, gravação, no que toca aos tempos de execução foi gerado o gráfico apresentado com recurso à figura 4.11.

Mais uma vez os tempos de execução para os dois cenários são bastante distintos, sendo novamente o cenário Imersivo que denota menor eficácia por parte dos utilizadores. No entanto, é de realçar que para este caso concreto, no cenário imersivo é utilizado um teclado virtual, para introdução de dados, o que torna este processo mais moroso, independentemente, dos dispositivos utilizados. Ou seja, se no cenário Normal, a inserção dos dados fosse efectuada com recurso a um teclado virtual, ainda que utilizando o rato tradicional, provavelmente, as diferenças não seriam tão acentuadas.

A recolha denotou que a utilização do cenário Imersivo leva a um aumento considerável dos erros, no entanto, esses erros foram cometidos por uma minoria de sujeitos.



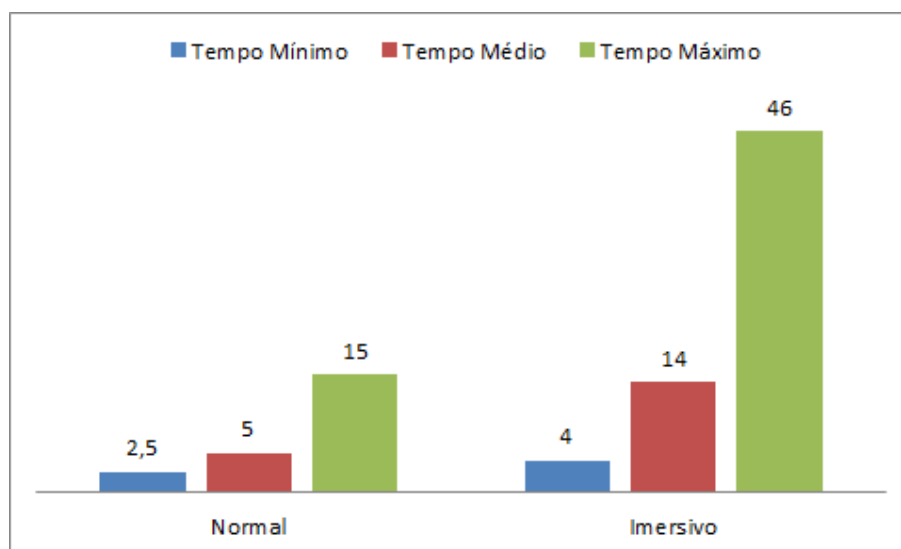


Figura 4.11: Tempo de execução da escrita e gravação do problema na tarefa Reportar problema

#### 4.5.2 Editar textura

Os tempos de execução da navegação, no âmbito da tarefa "Editar textura", podem ser consultados através do gráfico da figura 4.12.

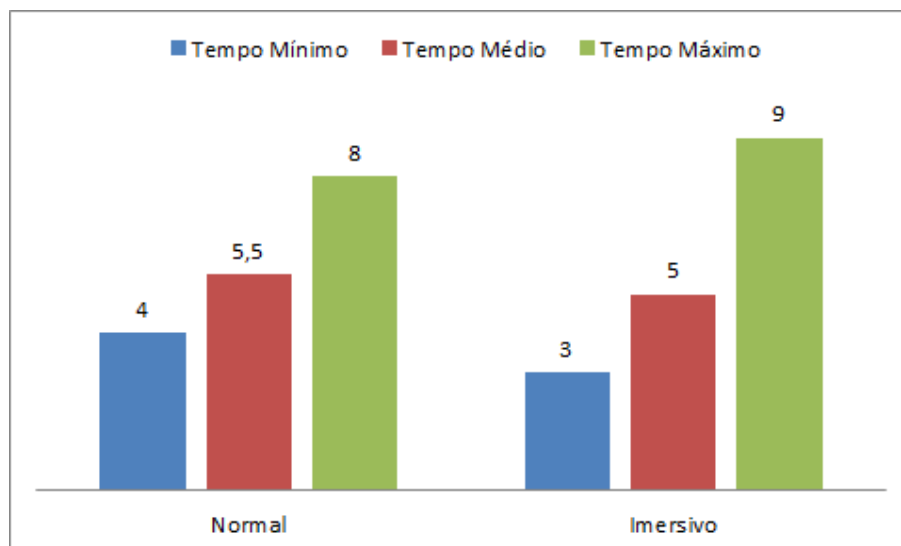


Figura 4.12: Tempo de execução da navegação na tarefa Editar textura

Os valores obtidos demonstram uma grande semelhança de desempenho dos utilizadores nos dois cenários, demorando em média cinco segundos a realizar a navegação e no máximo nove segundos. Ao nível dos erros ocorridos os valores são igualmente idênticos: zero erros, para qualquer cenário.

Seguindo para a alteração do serviço activo, os tempos de execução são apresentados no gráfico da figura 4.13. Desta feita o cenário Imersivo leva a melhor sobre o cenário Normal, pois apesar de em termos médios o tempo de execução ser semelhante, o tempo máximo para o cenário Normal denota que pelo menos um utilizador teve dificuldade em realizar a alteração do serviço. Apesar de registado um erro na execução com o cenário Normal, este valor é escasso para afirmar que sublinha a ideia formada pela análise dos tempos de execução.

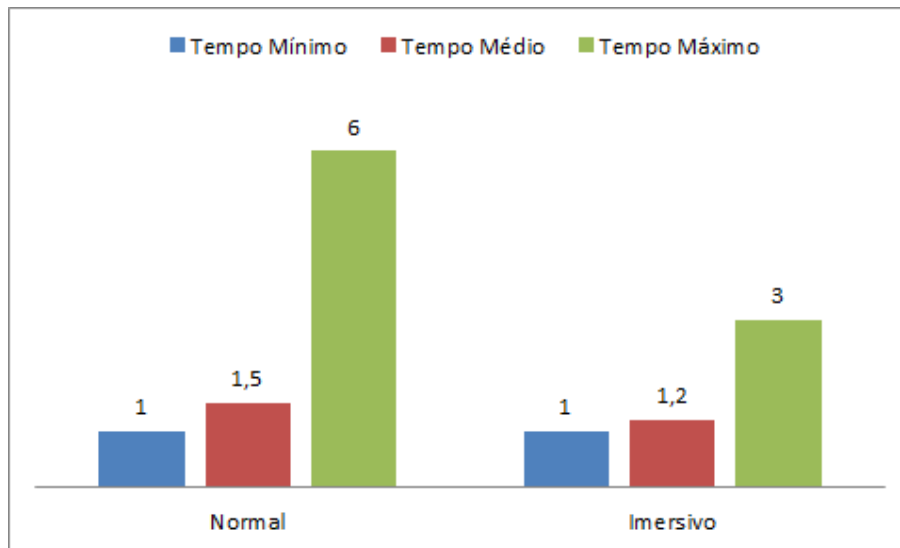


Figura 4.13: Tempo de execução da alteração de serviço na tarefa Editar textura

Mais uma vez, tal como na tarefa anterior, o cenário imersivo demonstra alguma ineficácia na selecção do objecto, apresentando também, na tarefa "Editar textura", uma grande diferença de tempos de execução, relativamente ao cenário Normal. Os valores recolhidos podem ser constatados com recurso ao gráfico da figura 4.14. Este facto volta a ser corroborado pelo número de erros registados com o cenário Imersivo, desta feita dez, contra zero do cenário Normal.

Por último, relativamente à tarefa "Editar textura", os resultados relativos à alteração da textura, propriamente dita. Esses dados são apresentados recorrendo à figura 4.15.

Neste caso, os valores do tempo médio de execução, para os dois cenários, não são muito diferentes (três segundos, no cenário Normal, e 4 segundo no cenário Imersivo). No entanto, o cenário Imersivo volta a denotar, através do valor do tempo máximo (23 segundos), que pelo menos um utilizador foi bastante ineficaz na concretização desta acção. Ainda assim, é de realçar que, realmente, só um utilizador apresentou dificuldade, o que não é suficiente para declarar a ineficácia do cenário Imersivo, neste caso. Em ambos os cenários foram detectados um número pequeno de erros (um e dois, para o cenário Normal e Imersivo, respectivamente), o que não é suficiente para tirar qualquer conclusão, relativamente a problemas das duas hipóteses.

## Caso de estudo

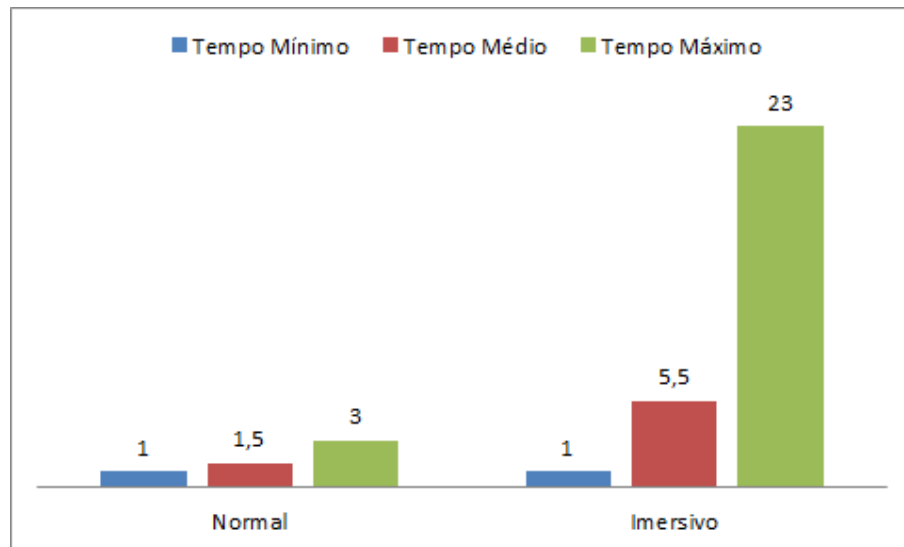


Figura 4.14: Tempo de execução da selecção do objecto na tarefa Editar textura

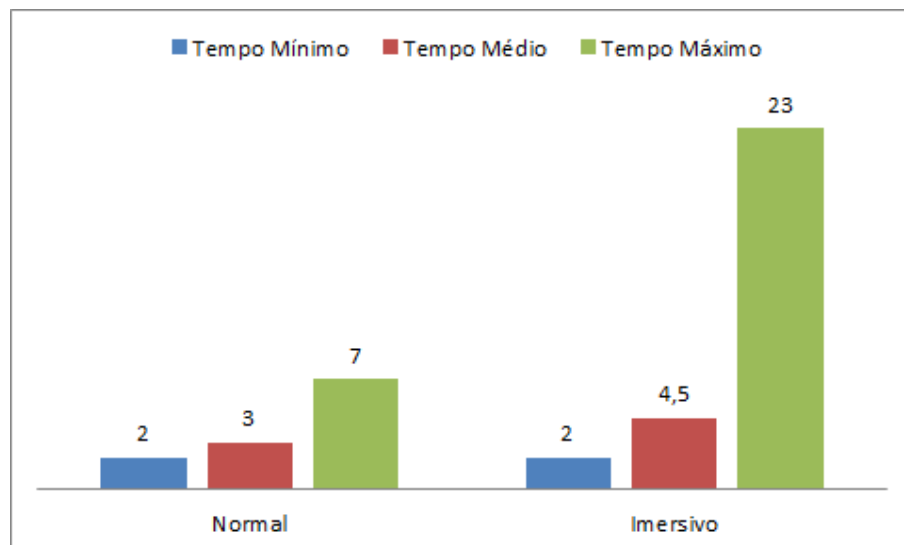


Figura 4.15: Tempo de execução da alteração de textura na tarefa Editar textura

#### 4.5.3 Modificar a altura de um edifício com *handles*

Dos dados recolhidos relativamente à navegação, durante a tarefa "Modificar a altura de um edifício com *handles*", foi possível construir o gráfico apresentado na figura 4.16. Mais uma vez, é possível constatar a semelhança de desempenho na navegação com recurso aos dois cenários em estudo, facto apoiado pela ausência de qualquer erro, em ambas as hipóteses.

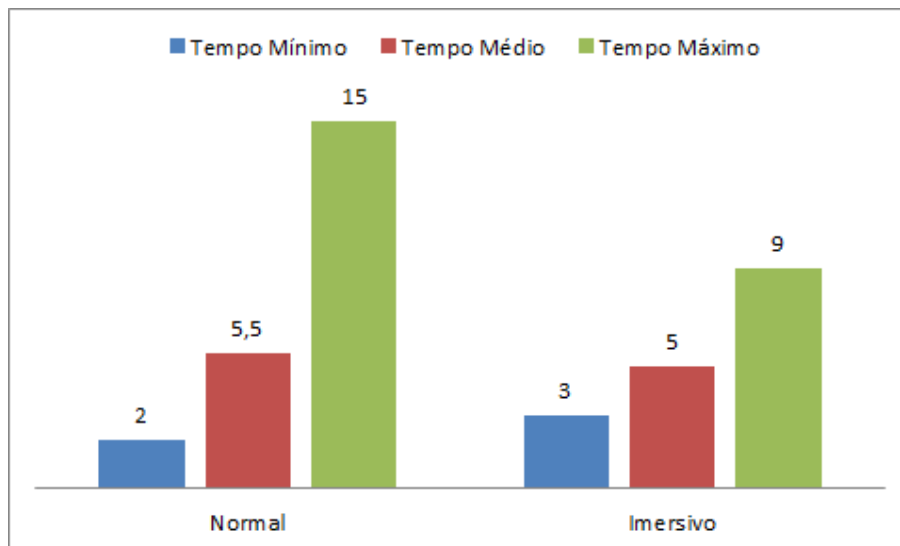


Figura 4.16: Tempo de execução da navegação na tarefa Modificar a altura de um edifício com *handles*

Tal como já foi demonstrado nas duas tarefas anteriores, quando é necessária a alteração do serviço activo, o cenário Imersivo demonstra ser menos eficaz, apresentando, principalmente, tempos máximos bastante superiores ao cenário normal. Este facto volta-se a confirmar na tarefa em questão, sendo, no entanto, de realçar que, em termos de tempo médio a diferença é pequena, o que pode indicar que o caso que deu origem ao tempo máximo será um caso isolado. Ainda assim, foram registados seis erros na utilização do cenário Imersivo, o que deixa alguma apreensão relativamente à sua usabilidade. Os dados recolhidos nesta instância são apresentados no gráfico da figura 4.17.

Tratando novamente da selecção do objecto, tal como nas duas tarefas anteriores, o cenário Imersivo, volta a demonstrar fragilidades, apresentando um tempo máximo e médio muito superior ao do cenário Normal. Este facto é ainda agravado por dezasseis erros registados na utilização do cenário Imersivo. Os tempos recolhidos para os dois cenários encontram-se no gráfico da figura 4.18.

Finalmente, no que diz respeito à modificação da altura do edifício, propriamente dita, os dois cenários apresentam tempos de execução médios muito semelhantes (3 segundos). A semelhança dos dois cenários estende-se aos erros registados: zero. A figura 4.19 permite visualizar o gráfico resultante do tratamento dos dados recolhidos neste caso.

## Caso de estudo

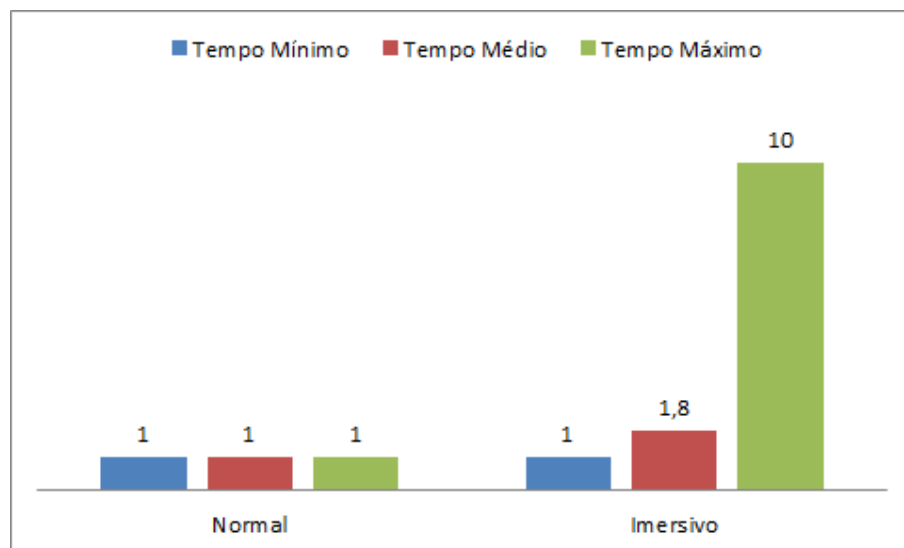


Figura 4.17: Tempo de execução da alteração de serviço na tarefa Modificar a altura de um edifício com *handles*

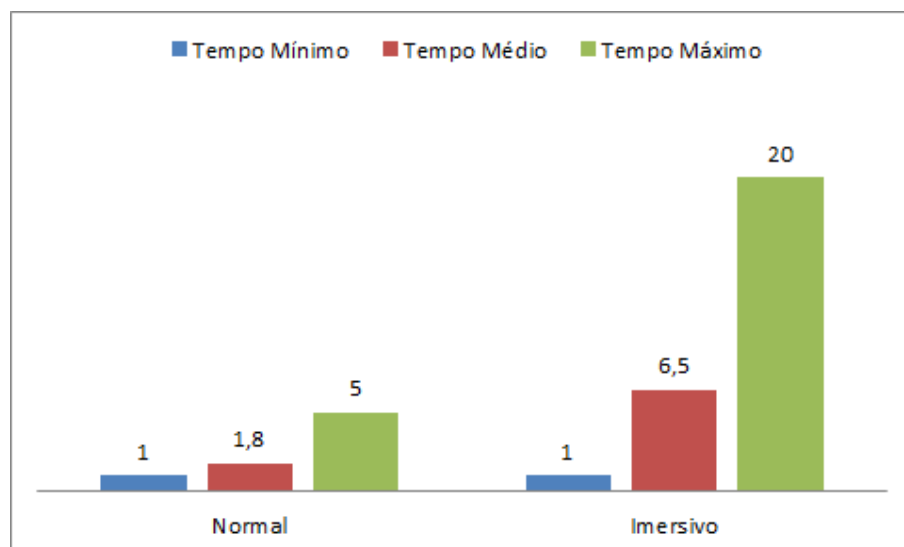


Figura 4.18: Tempo de execução da selecção do objecto na tarefa Modificar a altura de um edifício com *handles*

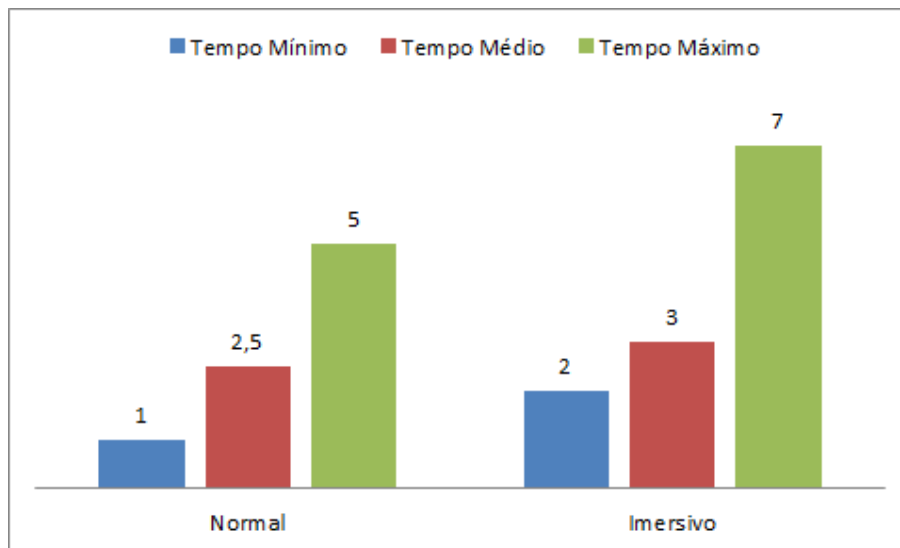


Figura 4.19: Tempo de execução da modificação da altura na tarefa Modificar a altura de um edifício com *handles*

#### 4.5.4 Questionário final

Para terminar, falta apresentar os resultados dos dados recolhidos com recurso ao questionário final realizado por todos os utilizadores. Este inquérito procurou estabelecer a opinião dos utilizadores relativamente a seis aspectos: facilidade de utilização e aprendizagem dos cenários, qualidade da visualização do mundo virtual em cada cenário, imersividade, realismo e eficiência.

As figuras 4.20, 4.21 e 4.22 apresentam os gráficos relativos aos dados recolhidos para cada um três primeiros aspectos, respectivamente.

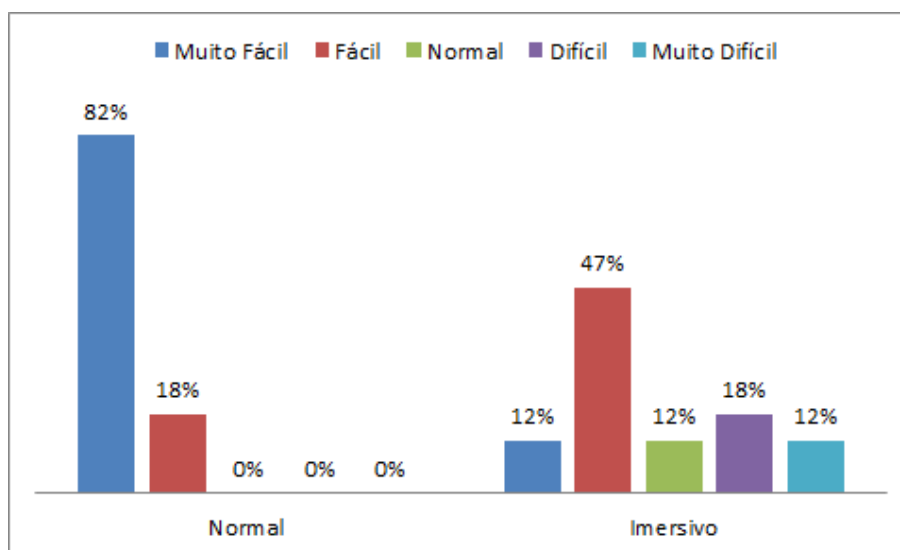


Figura 4.20: Facilidade de utilização dos dois cenários

O primeiro gráfico demonstra que a utilização do cenário Normal foi, naturalmente, classificada, maioritariamente, como "Fácil", ou "Muito Fácil". É um facto normal, dada a familiaridade das pessoas com os dispositivos de entrada utilizados neste cenário. No que toca ao cenário Imer-sivo, as opiniões são mais divididas, existindo, apesar da novidade dos dispositivos em causa, uma maioria que considera a utilização do cenário "Fácil", ou "Muito Fácil".

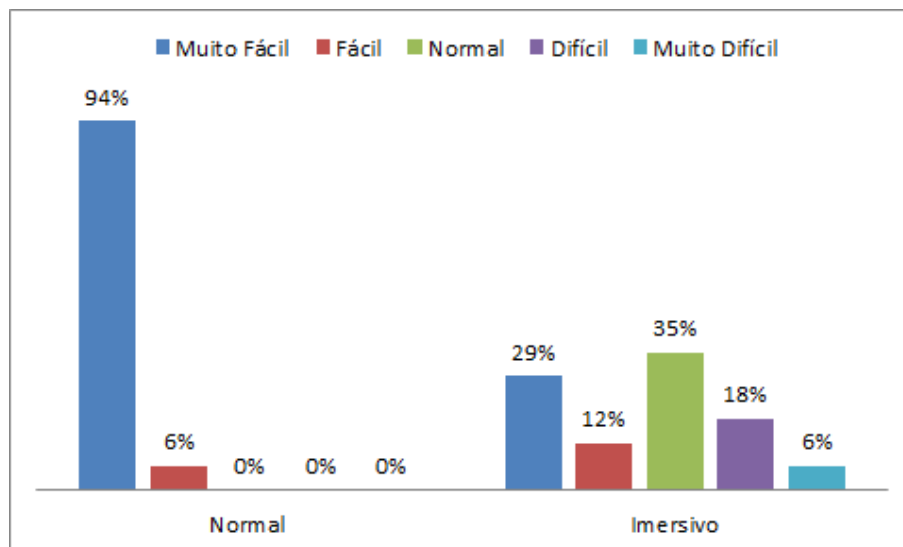


Figura 4.21: Facilidade de aprendizagem dos dois cenários

Já o segundo gráfico, referente à facilidade de aprendizagem, não é tão positivo para o cenário Imer-sivo, visto a percentagem de utilizadores que consideram a curva de aprendizagem associada a esta hipótese pequena ser apenas de quarenta por cento. Como seria de esperar, para o cenário Normal, o resultado é esmagadoramente positivo.

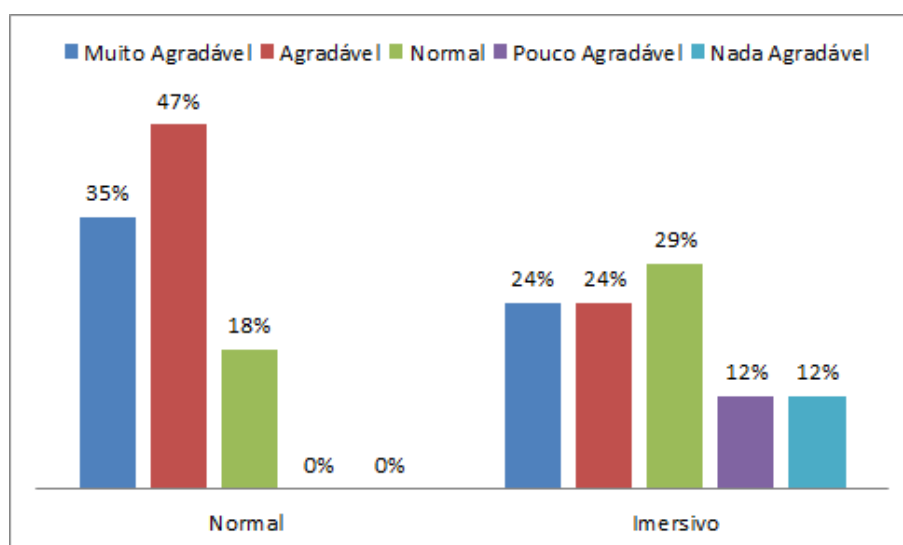


Figura 4.22: Qualidade da visualização do mundo virtual nos dois cenários

Analisando o último gráfico, podemos concluir que mais de oitenta por cento das pessoas acharam a qualidade de visualização do mundo virtual agradável, utilizando o cenário Normal, havendo no caso do cenário Imersivo, opiniões mais divididas. Este facto poderá estar associado à baixa resolução dos ecrãs utilizados no HMD.

Terminando com a análise dos três aspectos remanescentes:

- **Imersividade:** o cenário Imersivo provou ser capaz de aumentar a imersividade dos utilizadores, tendo sido considerado pelos utilizadores o mais capaz de induzir essa sensação. Já o cenário normal foi considerado o menos capaz neste aspecto.
- **Realismo:** mais uma vez o cenário Imersivo leva vantagem, tendo sido, novamente, o cenário Normal considerado o menos capaz.
- **Eficiência:** apesar dos resultados nos dois aspectos anteriores, neste caso, o cenário Imersivo é considerado o menos eficiente, tendo o cenário Normal a sua eficiência atestada pelos utilizadores.

## 4.6 Sumário

Ao longo deste capítulo foi apresentado o caso de estudo realizado para a solução imersiva desenvolvida, tendo por base o sistema 3DWikiU. Assim sendo, foram tratadas as funcionalidades do sistema, o conjunto de comandos definidos para a concretização das mesmas, as escolhas de implementação, bem como os testes realizados e resultados obtidos.

O sistema apresenta um conjunto de funcionalidades que vão desde três modos de interacção a quatro serviços que definem o modo de manipulação dos objectos do mundo virtual, bem como algumas ferramentas para facilitar a realização das tarefas, por parte do utilizador. No entanto, toda a manipulação de objectos é efectuada com recurso a janelas de interface, facto que levou à atribuição da alternância entre modos de interacção e serviços, e a selecção de objectos a comandos executados com a luva, ficando a restante manipulação ao encargo do rato 3D.

Relativamente à implementação foram seguidas as directrizes da solução genérica apresentada no capítulo anterior, fazendo uso da tecnologia C Sharp e das facilidades da programação orientada a eventos. Da estrutura em módulos apresentada na solução genérica foi relativamente transparente a conversão de cada módulo numa classe, ligada às classes já implementadas no sistema, com excepção do HMD, cuja implementação foi agregada à classe responsável pela implementação do ponto-de-vista do utilizador.

No que toca aos testes realizados, estes procuravam medir a usabilidade e eficácia de um conjunto de soluções de interacção com o sistema 3DWikiU, que se traduziam em cinco cenários de utilização com recurso a diferentes dispositivos. O teste consistia na realização de três tarefas no ambiente em cada cenário, sendo o desempenho do utilizador avaliado segundo duas métricas: tempo de execução e número de erros. Para este estudo foi apenas considerado o cenário resultante da solução genérica desenvolvida nesta dissertação, bem como o cenário mais tradicional dos



## Caso de estudo

cinco, cuja interacção era efectuada com recurso ao rato, teclado e monitor comuns. Os resultados obtidos demonstram um grande equilíbrio entre os dois cenários, apesar de em alguns aspectos o cenário resultante da solução imersiva causar alguma diminuição de produtividade do utilizador. Porém, este cenário destaca-se claramente em aspectos como a imersividade e o realismo.

## Caso de estudo

## Capítulo 5

# Conclusões e Trabalho Futuro

Ao longo do presente documento foram descritas ao promenor as diversas etapas do processo de concretização desta dissertação, cujo objectivo era a criação de uma solução imersiva para explorar Ambientes Virtuais urbanos, com recurso a um conjunto de dispositivos que constituem uma plataforma de interacção humano-computador. São esses dispositivos:

- um *Head-Mounted Display*, munido de uma *Inertial Measurement Unit*, para detecção dos movimentos da cabeça do utilizador;
- uma *Data Glove*, também com recurso a uma IMU, para detecção dos movimentos da mão;
- um rato 3D, ou seja, um rato com seis graus de liberdade;

À partida, foi definido um conjunto de objectivos, considerados condição necessária para a conclusão deste projecto:

- Investigar o estado da tecnologia dos dispositivos imersivos;
- Estudar o estado da arte ao nível da interacção imersiva com Ambientes Virtuais;
- Projectar uma solução genérica de interacção imersiva para AVs;
- Construir, tendo como ponto de partida a solução genérica concebida, a metáfora de interacção para o 3DWikiU;
- Implementar a solução;
- Testar a solução obtida;
- Avaliar os resultados obtidos.

Os primeiros dois objectivos dão a origem ao segundo capítulo, onde, para cada dispositivo utilizado na plataforma imersiva, são apresentadas tecnologias e aplicações diferentes, assim como os seus resultados. Para além deste assunto é abordado o tema das técnicas de interacção com AVs, tema em maior destaque nesta dissertação, devido ao facto de a solução imersiva a criar ser o resultado da integração de várias técnicas de interacção que, recorrendo aos dispositivos disponíveis, permitem a concretização de tarefas nos mundos virtuais em causa. São por isso enumeradas várias hipóteses utilizadas em estudos anteriores, bem como, algumas classificação destas técnicas, incluindo uma taxonomia, que serviram de base para a, posterior, criação da solução.

O projecto da solução genérica foi um processo complexo caracterizado por escolhas sobre qual a arquitectura a adoptar para o sistema (ponderando as características de cada dispositivo e dos sistemas aos quais se pretende aplicar a solução), a como integrar os três dispositivos numa plataforma homogénea e a quais as técnicas de interacção a utilizar relacionando as tarefas do mundo virtual a realizar, a técnica considerada mais pretinente e os dispositivos disponíveis. Assim, ao longo do terceiro capítulo, foram apresentados todos os aspectos relativos a cada um destes pontos.

Após a conclusão do objectivo anterior, o resultado principal da dissertação tinha sido concluído, no entanto, o valor do estudo seria irrelevante, sem a sua tradução em algo palpável e de mais fácil avaliação, por forma a compreender o seu verdadeiro valor. Foi desta forma que surgiu o caso de estudo 3DWikiU, onde, seguindo as directrizes fornecidas pela solução imersiva criada, foi implementada, neste sistema já existente, uma solução concreta. Esta solução foi submetida a testes, cuja análise de resultados, permitirá, nesta instância, acessar, a sua usabilidade e eficácia que, por consequência, tornarão possível compreender a utilidade da solução genérica criada, como ponto de partida, para a construção de soluções deste tipo, para sistemas concretos. Por sua vez, a viabilidade da solução criada poderá atestar a qualidade do estudo efectuado, para sustentar todas as tomadas de decisão inerentes ao processo.

### 5.1 Satisfação dos Objectivos

No fim desta dissertação e de acordo com os objectivos propostos encontravam-se desenvolvidos: um estudo do estado da arte de áreas como as dos dispositivos que constituem a plataforma imersiva, bem como das técnicas de interacção com AVs; uma solução genérica imersiva para interacção com Ambientes Virtuais urbanos com recurso a um conjunto de dispositivos específicos; e uma metáfora de interacção para o sistema 3DWikiU, recorrendo a este mesmo conjunto de dispositivos.

Os resultados dos testes realizados, no âmbito do caso de estudo, permitem retirar as seguintes conclusões, relativamente, à usabilidade e eficácia da solução construída para o sistema 3DWikiU:

- o recurso à técnica que integra o HMD e o rato 3D, para a manipulação do ponto-de-vista (navegação pelo mundo virtual), demonstra ser capaz de potenciar a eficácia do utilizador na execução desta acção, dado o melhor desempenho registado, quando comparado com cenário Normal (mais familiar para a maioria dos utilizadores);

- a utilização da *Data Glove*, como dispositivo de interacção, permite manter os níveis de eficácia do utilizador na execução de tarefas, apesar de o desempenho com este dispositivo ser ligeiramente mais fraco, comparando com o cenário remanescente, podendo, no entanto, este facto ser atenuado se tivermos em conta a pouca familiaridade dos utilizadores com este tipo de dispositivo;
- o rato 3D, quando utilizado para acções além da navegação, provoca uma quebra no desempenho dos utilizadores, sendo necessário ter em conta que este facto se deve em parte à utilização do teclado virtual, para a inserção de dados;
- a imersividade e realismo beneficiam da utilização desta solução;
- esta é uma solução considerada, maioritariamente intuitiva, com um período de aprendizagem reduzido.

Estas são conclusões que permitem inferir, para o caso da solução imersiva genérica, que esta fornece directrizes fiáveis para a criação de soluções imersivas, para sistemas concretos. Este facto é suportado pelos resultados, no geral, bastante positivos, obtidos nos testes efectuados com o caso de estudo. No entanto, deverá ser tomado especial cuidado com a utilização do rato 3D, para tarefas que não de navegação, passando a solução por utilizar outras técnicas sugeridas na solução genérica, consoante o sistema em causa.

Por fim, a validade e viabilidade da solução genérica confirma a qualidade dos estudos que a alicerçam. Desta forma, todos os objectivos propostos foram satisfeitos, havendo ainda assim, alguns aspectos dignos de melhoramento.

## 5.2 Trabalho Futuro

Numa perspectiva futura seria interessante explorar com mais minúcia algumas componentes desta solução, por forma a potenciar as suas capacidades. Nomeadamente, a implementação da estereoscopia, na visualização através do HMD, a introdução de *feedback* sonoro e uma definição mais exacta de quais as melhores situações de interacção, ao nível da manipulação de objectos, para a utilização do rato 3D. Outro aspecto digno de estudo será a possibilidade de utilização de comandos por voz.

O grande benefício introduzido pela estereoscopia seria acima de tudo ao nível da usabilidade, causando, provavelmente, um aumento da imersividade e realismo da solução. Esta funcionalidade terá de ser implementada, através da criação de duas perspectivas diferentes, para cada posição e orientação que o ponto-de-vista tome, devendo depois cada perspectiva ser enviada para o ecrã do HMD respectivo.

A implementação de técnicas de *feedback* sonoro poderão ter um impacto significativo na imersividade e realismo da solução. Tornar possível a utilização de mais um sentido, para a percepção do ambiente, é um passo em frente para a aproximação à exploração de ambientes reais, realizada pelas pessoas no seu dia-a-dia. Para além desse facto, existe o aumento da alienação

## Conclusões e Trabalho Futuro

relativamente aos factores externos. Por exemplo, durante a utilização da solução, se ocorrer um barulho nas proximidades da posição do utilizador no mundo real, a imersividade vai ser quebrada, devido à percepção do utilizador da não pertença desse som ao ambiente em que se encontrava imerso. Tal facto não aconteceria, com tanta facilidade, se fossem contempladas estas técnicas.

Agora que este estudo está finalizado é possível afirmar que, para situações análogas à do 3DWikiU, onde é necessária a introdução de dados no sistema para efectuar a manipulação de um objecto, a utilização do rato 3D para o efeito não revela grande eficácia. Assim, poderá haver interesse na afinação da solução imersiva, tendo em conta estas conclusões, bem como outros aspectos não tão perceptíveis.

Por fim, o próximo passo, para uma evolução desta solução, parece nitidamente apontar para a utilização de um outro meio de interacção: a voz. A execução de tarefas, através de comandos de voz é outra forma de interacção natural que pode ser introduzida, por forma a complementar as já existentes. Imaginemos, por exemplo, a possibilidade de colmatar a dificuldade de introdução de dados alfanuméricos, com recurso ao rato 3D e teclado virtual, utilizando a fala.

## Anexo A

# Questionário inicial

Inquérito número: \_\_\_\_\_

Idade: \_\_\_\_\_

Género: M ☐ F ☐

Questão	Nenhuma	Pouca	Alguma	Muita
Tem experiência em ambientes virtuais?				
Tem experiência com Head-mounted display?				
Tem experiência com rato 3D?				
Tem experiência com luva instrumentada?				
Tem experiência com ecrã tátil?				

Figura A.1

## Questionário inicial



## Anexo B

# Questionário final

### Questionário Satisfação

Classifique de 1-5 a facilidade de utilizar o sistema, sendo 1 muito difícil e 5 muito fácil.

#### Cenário 3D

1	<input type="text"/>
2	<input type="text"/>
3	<input type="text"/>
4	<input type="text"/>
5	<input type="text"/>

#### Cenário Imersivo

1	<input type="text"/>
2	<input type="text"/>
3	<input type="text"/>
4	<input type="text"/>
5	<input type="text"/>

#### Cenário HDR

1	<input type="text"/>
2	<input type="text"/>
3	<input type="text"/>
4	<input type="text"/>
5	<input type="text"/>

#### Cenário Multi-Toque

1	<input type="text"/>
2	<input type="text"/>
3	<input type="text"/>
4	<input type="text"/>
5	<input type="text"/>

#### Cenário Normal

1	<input type="text"/>
2	<input type="text"/>
3	<input type="text"/>
4	<input type="text"/>
5	<input type="text"/>

Figura B.1

## Questionário final

Classifique de 1-5 a facilidade de aprendizagem do sistema, sendo 1 muito difícil e 5 muito fácil.

### Cenário 3D

1	<input type="text"/>
2	<input type="text"/>
3	<input type="text"/>
4	<input type="text"/>
5	<input type="text"/>

### Cenário Imersivo

1	<input type="text"/>
2	<input type="text"/>
3	<input type="text"/>
4	<input type="text"/>
5	<input type="text"/>

### Cenário HDR

1	<input type="text"/>
2	<input type="text"/>
3	<input type="text"/>
4	<input type="text"/>
5	<input type="text"/>

### Cenário Multi-Toque

1	<input type="text"/>
2	<input type="text"/>
3	<input type="text"/>
4	<input type="text"/>
5	<input type="text"/>

### Cenário Normal

1	<input type="text"/>
2	<input type="text"/>
3	<input type="text"/>
4	<input type="text"/>
5	<input type="text"/>

Figura B.2

## Questionário final

Ordene os sistemas de 1-5 por ordem de imersividade, sendo 1 o mais imersivo e 5 menos imersivo.

HDR	<input type="text"/>
Touchscreen	<input type="text"/>
3D	<input type="text"/>
HMD	<input type="text"/>
Normal	<input type="text"/>

Ordene os sistemas de 1-5 por ordem de realismo, sendo 1 o mais realista e 5 menos realista.

HDR	<input type="text"/>
Touchscreen	<input type="text"/>
3D	<input type="text"/>
HMD	<input type="text"/>
Normal	<input type="text"/>

Ordene os sistemas de 1-5 por ordem de preferência de ecrã, sendo 1 o melhor e 5 o pior.

HDR	<input type="text"/>
Touchscreen	<input type="text"/>
3D	<input type="text"/>
HMD	<input type="text"/>
Normal	<input type="text"/>

Ordene os sistemas de 1-5 por ordem de eficiência, sendo 1 o mais eficiente e 5 o menos eficiente.

HDR	<input type="text"/>
Touchscreen	<input type="text"/>
3D	<input type="text"/>
HMD	<input type="text"/>
Normal	<input type="text"/>

Figura B.3

## Questionário final

Quais dos sistemas gostou mais? Explique porquê.

---

---

---

---

---

---

Figura B.4

# Referências

- [BBKF97] Ravin Balakrishnan, Thomas Baudel, Gordon Kurtenbach e George Fitzmaurice. The rockin' mouse: Integral 3d manipulation on a plane. In *Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'97)*, pages 311–318. ACM, 1997.
- [BGRP01] Steve Benford, Chris Greenhalgh, Tom Rodden e James Pycock. Collaborative virtual environments. *COMMUNICATIONS OF THE ACM*, pages 79–85, Julho 2001.
- [BH99] Doug A. Bowman e Larry F. Hodges. Formalizing the design, evaluation, and application of interaction techniques for immersive virtual environments. *Journal of Visual Languages and Computing*, pages 37–53, 1999.
- [BM86] W. Buxton e B. A. Myers. A study in two-handed input. In *Proceedings of the CHI'86 Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 321–326. ACM: New York, 1986.
- [Cal83] M. A. Callahan. *A 3-D display head-set for personalized computing*. PhD thesis, 1983.
- [CE86] Ltd. CAE Electronics. *Introducing the visual display system you wear*. CAE Electronics, Ltd., 1986.
- [CHB<sup>+</sup>89] James C. Chung, Mark R. Harris, F. P. Brooks, Henry Fuchs, Michael T. Kelley, John Hughes, Ming Ouh-young, Clement Cheung, Richard L. Holloway e Michael Pique. Exploring virtual worlds with head-mounted displays. In *Proceeding of Non-Holographic True 3-Dimensional Display Technologies, Vol. 1083*, pages 15–20. SPIE, 1989.
- [Cla76] J. H. Clark. Designing surfaces in 3-d. *Communications of the ACM*, pages 454–460, 1976.
- [CS98] E. F. Churchill e D. Snowdon. Collaborative virtual environments: An introductory review of issues and systems. *Virtual Reality*, pages 3–15, 1998.
- [Dee92] M. Deering. High resolution virtual reality. In *Proceedings of SIGGRAPH' 92*, pages 195–202. ACM SIGGRAPH, 1992.
- [Dod09] Trevor James Dodds. *Collaborative Interaction in Virtual Environments*. PhD thesis, 2009.
- [Ell83] S. R. Ellis. Nature and origins of virtual environments: a bibliographical essay. *Computing Systems in Engineering, Vol. 2*, pages 321–347, Agosto 1983.

## REFERÊNCIAS

- [Eng95] Rupert England. Sensory-motor systems in virtual manipulation. *Simulated and Virtual Realities: Elements of Perception*, pages 131–177, 1995.
- [FHKH06] Bernd Frohlich, Jan Hochstrate, Alexander Kulik e Anke Huckauf. On 3d input devices. *IEEE Computer Graphics and Applications*, pages 15–19, 2006.
- [FHS06] Bernd Frohlich, Jan Hochstrate, Verena Skuk e Anke Huckauf. The globefish and the globemouse: Two new six degree of freedom input devices for graphics applications. In *Proceedings of Interaction Techniques: Haptic and Gestural*, pages 22–27. CHI, 2006.
- [FMHR86] S. S. Fisher, M. McGreevy, J. Humphries e W. Robinett. Virtual environment display system. In *Proceedings of Workshop on Interactive 3D Graphics*, pages 77–87, 1986.
- [GH91] Tinsley A. Galyean e John F. Hughes. Sculpting: an interactive volumetric modeling technique. In *Proceedings of SIGGRAPH'91*, pages 267–274. ACM, 1991.
- [Gli86] C. V. Glines. Brain buckets. *Air Force Magazine*, pages 86–90, 1986.
- [Gri83] G. J. Grimes. *Digital Data Entry Glove Interface Device*. Bell Telephone Laboratories, 1983.
- [Han97] Chris Hand. A survey of 3d interaction techniques. *Computer Graphics Forum*, pages 269–281, Dezembro 1997.
- [HHA85] Edwin L. Hutchins, James D. Hollan e Donald A. Nature and origins of virtual environments: a bibliographical essay. *Human-Computer Interaction, Vol. 1, Issue 4*, pages 311–338, Dezembro 1985.
- [JLMP93] R. J. K. Jacob, J. J. Leggett, B. A. Myers e R. Pausch. Interaction styles and input/output devices. *Behaviour and Information Technology, Vol. 12, Issue 2*, pages 69–79, 1993.
- [KL89] J. Kramer e L. Leifer. The talking glove: And expressive and receptive "verbal" communication aid for the deaf, deaf-blind, and non-vocal. Technical report, Stanford University, 1989.
- [Min95] Mark R. Mine. Virtual environment interaction techniques. Technical report, University of North Carolina, Maio 1995.
- [Nie93] J. Nielsen. Noncommand user interfaces. *Communications of the ACM*, pages 83–99, 1993.
- [RPJ99] Roy A. Ruddle, Stephen J. Payne e Dylan M. Jones. Navigating large-scale virtual environments: What differences occur between helmet-mounted and desk-top displays? *Presence Vol. 8, No. 2*, pages 157–168, Abril 1999.
- [Shn91] Ben Shneiderman. Direct manipulation: A step beyond programming languages. *IEEE Computer*, pages 57–62, 1991.
- [SRS91] Emanuel Sachs, Andrew Roberts e David Stoops. 3-draw: A tool for designing 3d shapes. *IEEE Computer Graphics and Applications*, pages 18–26, 1991.
- [SU94] Mel Slater e Martin Usoh. Body centred interaction in immersive virtual environments. *Artificial Life and Virtual Reality*, pages 125–148, 1994.

## REFERÊNCIAS

- [Sut65] I. E. Sutherland. The ultimate display. In *Proceedings of the IFIP Congress 2*, pages 506–508. IFIP, 1965.
- [SZ94] David J. Sturman e David Zeltzer. A survey of glove-based input. *IEEE Computer Graphics and Applications*, pages 30–39, 1994.
- [Vic74] D. L. Vickers. *Sorcerer's apprentice: head-mounted display and wand*. PhD thesis, 1974.
- [War90] Colin Ware. Using hand position for virtual object placement. *The Visual Computer*, 6, pages 245–253, 1990.
- [Zim87] T. G. Zimmerman. A hand gesture interface device. In *Proceedings of Human Factors in Computing Systems and Graphics Interface*, pages 189–192. ACM Press, 1987.